





BIBLIOTHÈQUE
UNIVERSELLE
DES DAMES.

Huitième Classe :

PHYSIQUE GÉNÉRALE.

Il paroît tous les mois deux Volumes de cette Bibliothèque. On les délivre ſoit brochés, ſoit reliés en veau fauve ou écaillé & dorés ſur tranche, ainſi qu'avec ou ſans le nom de chaque Souſcripteur imprimé au frontiſpice de chaque volume.

La ſouſcription pour les 24 vol. reliés eſt de 72 liv., & de 54 liv. pour les volumes brochés.

Les Souſcripteurs de Province, auxquels on ne peut les envoyer par la poſte que brochés, payeront de plus 7 liv. 4 ſ. à cauſe des frais de poſte.

Il faut s'adreſſer à M. CUCHET, Libraire, *rue & hôtel Serpente, à Paris.*

BIBLIOTHEQUE
DE
MADEMOISELLE
RENARD.

PHYSIQUE GÉNÉRALE

PAR M. SIGAUD DE LA FOND.

TOME PREMIER.

A PARIS,
RUE ET HOTEL SERPENTE.
Avec Approbation & Privilége du Roi.
1788.


WELLCOME
HISTORICAL
MEDICAL
LIBRARY

PRÉFACE.

PENDANT plus de trente ans que j'ai professé la Physique Expérimentale à Paris, les Dames ont presque toujours fait la majeure partie de mes Auditeurs, & toujours elles se distinguèrent par leur assiduité & l'attention particulière dont elles m'honorèrent constamment.

Douées d'une intelligence, d'une sagacité qui leur est propre,

personne ne saisissoit avec plus de facilité les vérités les plus abstraites, & ne suivoit plus exactement qu'elles les démonstrations les plus compliquées.

Si par fois elles me firent des questions, si elles me proposèrent des difficultés, jamais ces questions ne furent déplacées, & toujours ces difficultés furent celles que laissoient après elles, ou l'imperfection inévi-

table de certaines expériences, ou une explication qui demandoit à être plus développée.

Quelquefois, j'en conviens, ces difficultés faisoient naître des disputes; mais ces disputes intéressantes par la subtilité des argumens, & plus encore par la politesse avec laquelle ils étoient proposés, réveilloient & soutenoient l'attention de l'Assemblée qui y prenoit part,

& toujours elles tournoient à ſon avantage, en ce qu'elles finiſſoient par mettre la vérité dans un plus grand jour.

Quand je me rappelle ces heureuſes circonſtances de ma vie, je me plais à croire que ce fut à ce concours habituel de Dames, à ce déſir ardent qu'elles témoignoient de s'inſtruire, à l'émulation qu'elles excitoient, que je fus redevable

de cette multitude d'Auditeurs diſtingués qui fréquentèrent mon Ecole, & ſuivirent mes Cours.

Eloigné de la Capitale, dans la retraite que j'ai choiſie, j'y vois les Dames auſſi empreſſées de s'inſtruire, augmenter le nombre de mes Auditeurs & ſuivre avec une aſſiduité exemplaire l'Ecole de Phyſique Expérimentale que j'ai formée, que Sa Majeſté a agréée,

autoriſée, & confiée à mes ſoins.

En parcourant des yeux le cercle qui m'environne, à chaque Séance, je me rappelle ces beaux jours, ces jours fortunés, où je voyois la plus brillante Compagnie de Paris raſſemblée dans mon cabinet; le même zèle m'anime, ſoutient mes efforts, & la ſatisfaction que mes Auditeurs me témoi-

gnent, m'inſpire chaque année le déſir de mieux faire.

Toujours donc occupé d'une ſcience qui fait mes délices, & l'objet de mes études les plus aſſidues, d'une ſcience qui devient tous les jours plus attrayante par les nouvelles découvertes dont elle s'enrichit, l'Ouvrage que je préſenté aux Dames eſt un hommage que je les prie d'agréer comme le juſte tribut

de la reconnoiſſance que je leur dois.

Fait exprès pour elles, ce n'eſt point, comme on pourroit l'imaginer, un ſimple extrait de mes Elémens, qui ne ſeroit qu'un Abrégé de Phyſique Expérimentale, fort éloigné de remplir le plan que je me ſuis propoſé en mettant la main à l'œuvre.

Quoique très-étendus, je ne

me ſuis occupé, dans mes Elémens, que de Phyſique Expérimentale, des queſtions ſuſceptibles d'être traitées par la voie de l'expérience, & les théories que j'y ai développées, ſont uniquement celles qui m'ont fourni matière à quelque expérience, l'unique objet auquel j'ai cru devoir tout ſacrifier.

Ici j'embraſſe un plan beaucoup plus vaſte, j'embraſſe toute

la Phyſique, & je traite pluſieurs queſtions dont je n'ai pas cru devoir faire mention dans mes Elémens. A ne conſidérer donc que la matière, l'Ouvrage que je publie aujourd'hui, beaucoup moins volumineux que le précédent, eſt cependant plus étendu.

Si on me demande comment je ſuis parvenu à diminuer le volume de celui-ci, ſans nuire

au développement de la plus grande quantité de matières qu'il renferme ? je répondrai que, sans négliger l'expérience qui fait la base de nos connoissances physiques & qui répand sur elles la lumière la plus certaine, j'ai supprimé tous les détails relatifs à la construction des machines & à leur manipulation, parce qu'il ne s'agit point ici d'apprendre à opérer, mais

à raiſonner d'après l'expérience, & à ſaiſir les vérités qui en découlent. Je n'ai donc dit que ce qu'il étoit néceſſaire de dire pour donner une idée juſte & préciſe des expériences que je cite, & mettre en évidence les inductions que j'en tire.

De plus longs développemens n'euſſent fait qu'alonger le diſcours ſans le rendre plus inſtructif, & n'euſſent point diſ-

penſé ceux qui veulent tout voir par eux-mêmes de conſulter l'expérience. A ceux-ci, je leur dirai : ayez des machines & opérez ou, ſi vous l'aimez mieux, ſuivez les Cours de Phyſique Expérimentale & voyez opérer. Aux autres, je leur dirai : liſez avec attention, & vous comprendrez facilement le génie & les réſultats des expériences dont il ſera fait mention;

liſez avec application & vous ſaiſirez avec facilité les preuves que ces expériences fourniſſent à mes aſſertions.

Ce qui diminue encore le volume de cet Ouvrage, ſans nuire à l'inſtruction du Lecteur, c'eſt l'attention que j'ai apportée à ne point anticiper ſur le travail de mes collaborateurs. Je m'explique : la Phyſique embraſſe naturellement quantité d'objets

qui appartiennent de droit à plusieurs sciences qui sont elles-mêmes partie de la Physique : elle traite ordinairement différentes questions d'Histoire Naturelle, de Chymie, de Physiologie, &c. ; or, toutes ces questions, que j'ai embrassées dans mes Elémens, chaque fois qu'elles m'ont fourni matière à quelques expériences curieuses & intéressantes, toutes ces ques-

tions, dis-je, que j'ai traitées fort au long dans cet Ouvrage, je les abandonne dans celui-ci, perſuadé, comme je le ſuis, qu'elles ſeront beaucoup mieux traitées & d'une manière plus favorable au Lecteur, par chacun des Auteurs qui ſe ſont chargés de lui offrir les Elémens des Sciences auxquelles èlles appartiennent ſtrictement.

Cependant j'ai cru devoir me

permettre

permettre d'expofer à ma manière le magnifique tableau de ces principes aériformes qu'on retire de la décompofition des mixtes, parce que cette matière appartient également à la Phyfique & à la Chymie. Confidérant d'ailleurs que celle-ci ne s'occupe de ces différens objets qu'à mefure que les circonftances les préfentent & les amènent fur la fcène, j'ai ima-

giné que le Lecteur me ſauroit gré de raſſembler & de lui préſenter ſous le même point de vue un Précis des connoiſſances acquiſes juſqu'à ce jour ſur une matière auſſi intéreſſante.

Fait avec tout le ſoin dont je ſuis capable, ce Précis lui mettra ſous les yeux les rapports & les différences qu'on a découverts entre chacun de ces êtres & l'air proprement dit ; il appren

dra quelles ſont leurs propriétés caractériſtiques, les avantages qu'on en peut retirer en quantité de circonſtances, & le ſoin avec lequel il convient de ſe garantir des impreſſions fâcheuſes de la plûpart d'entre eux; mais ce qu'il verra ſans doute avec un intérêt particulier, c'eſt le tableau de cette ſuite immenſe de travaux ſi ingénieuſement imaginés & non moins

heureuſement exécutés depuis quelques années; & bien qu'il reſte encore beaucoup à faire pour acquérir une connoiſſance parfaite de la nature de chacun de ces principes aériformes, on ſera étonné des progrès qu'on a faits en ſi peu de temps dans cette ſcience phyſico-chymique, la plus brillante partie de la Phyſique moderne.

Quand ce Précis n'auroit d'au-

tre avantage que de mettre le Lecteur au courant des nouvelles découvertes en ce genre, je me fusse déterminé à entreprendre ce travail; mais à cet avantage se joindra encore une plus grande facilité de comprendre les belles & sublimes théories que le savant Auteur de la Partie Chymique de cette Bibliothèque exposera sans doute dans les différens endroits de

ſon Ouvrage, qui auront rapport à cet objet.

Ici, comme par-tout ailleurs, je paſſe ſous ſilence la deſcription des appareils & le détail de leurs manipulations ſur leſquelles je me ſuis très-étendu dans mon *Eſſai ſur différentes eſpèces d'air fixe.* Au défaut d'un autre Ouvrage de ce genre, je renverrois le Lecteur à celui-ci, ſi je pouvois me perſuader que des Dames

vouluſſent s'occuper d'une manipulation auſſi rebutante pour elles; mais convaincu qu'il leur ſera auſſi avantageux & plus agréable de n'être que ſpectatrices de ces belles expériences, j'imagine qu'elles me ſauront gré de leur apprendre que je ne connois perſonne plus en état de les ſatisfaire en cela, & en général en tout ce qui concerne les expériences de Phyſique,

que *M. Rouland*, *Professeur de Physique Expérimentale*, *à Paris*, *Hôtel de Mouy*, *rue Dauphine:* possesseur d'un superbe Cabinet de machines, il joint au talent de les manier avec la plus grande dextérité, celui d'en expliquer parfaitement bien les effets, & de faire d'excellens Cours de Physique.

Quant aux démonstrations Mathématiques, dont on fait un

aſſez fréquent uſage en Phyſique, & que je n'ai pas craint d'employer dans mes Elémens, je les ai éliminées de celui-ci. A leur place, j'ai ſubſtitué des raiſonnemens plus faciles à ſaiſir, & ces raiſonnemens m'ont fourni des preuves auſſi concluantes.

Si, en quelques endroits, je me ſuis ſervi de quelques expreſſions Mathématiques, je ne

l'ai fait qu'avec la plus grande discrétion; & lorsqu'il ne m'a point été possible de m'énoncer en d'autres termes, j'ai toujours eu soin d'en donner l'explication en faveur de ceux qui ne seroient point familiarisés avec ces sortes d'expressions.

Ainsi donc, en comparant cet Ouvrage à mes Elémens, on verra qu'à l'exception des principes qui ne peuvent varier,

des vérités phyſiques qui ſont toujours les mêmes & qu'on ne peut énoncer autrement, la manière ſelon laquelle j'ai traité les queſtions que j'ai embraſſées, les preuves dont je me ſuis ſervi, preſque toutes les obſervations que j'ai rapportées, la plûpart des applications que j'ai eu occaſion de faire, & juſqu'à la forme, je veux dire la diſtribution des matières, tout a

été refait dans celui-ci, à dessein de le rendre plus concis & moins volumineux, sans nuire à sa clarté & à l'instruction des Dames auxquelles j'ai l'honneur de l'offrir & d'en faire hommage.

BIBLIOTHEQUE

UNIVERSELLE

DES DAMES.

PHYSIQUE.

CONNOITRE la nature des corps; leurs propriétés générales & particulières, leurs affections diverses, les loix de leurs mouvemens, leurs actions réciproques; distinguer & expliquer les sensations qu'ils produisent sur les organes de nos sens; observer en général tous les phénomènes de la nature, les méditer, les approfondir, en découvrir les causes,

autant qu'il eſt poſſible à l'homme d'atteindre juſque-là : tel eſt, en peu de mots, l'objet de la Phyſique, la plus étendue des ſciences naturelles & la plus ſatisfaiſante en même temps, par la variété & l'utilité de ſes connoiſſances.

Toute la difficulté conſiſte à en acquérir de certaines, avec cet eſprit de ſyſtème qui nous domine, & ſur-tout avec ce déſir effréné de tout comprendre & de tout expliquer. Je ſuis fort éloigné cependant de blâmer la curioſité de l'homme à cet égard : c'eſt, de toutes les paſſions qui le dominent la plus noble & la plus utile, en ce qu'elle l'attache à l'étude des merveilles de la nature, & que la contemplation de ces merveilles élève

néceſſairement ſon eſprit juſqu'à la ſublimité de leur auteur ; mais je veux qu'en les contemplant ces merveilles, en les étudiant, il ſache ſe défier de ſon intelligence, & plus encore de ſon imagination; je veux qu'il n'oublie jamais, qu'en expoſant à ſes yeux les tréſors de ſa munificence, en lui montrant les effets de ſa puiſſance, ſouvent la nature ſe plaît à lui en cacher les cauſes; je veux donc, qu'avant de s'occuper de celles-ci, il s'attache particulièrement à bien ſaiſir leurs effets, à étudier leurs rapports, leurs analogies, à en découvrir toutes les particularités, & que, circonſpect & réſervé, il n'admette aucune cauſe qu'elle ne lui ſoit ma-

nifeſtement démontrée ; & pour cela, je veux qu'il conſulte l'expérience par-tout où ſon flambeau pourra lui prêter ſa lumière.

Je ne dirai pas que ce flambeau ſoit le ſeul, mais le plus ſûr des guides qui puiſſent le conduire dans les routes ténébreuſes qui aboutiſſent au ſanctuaire de la nature, & je ne diſconviendrai même point, qu'au lieu de l'éclairer, cette lumière peut quelquefois l'éblouir, mais toujours par ſa faute, & j'en trouve la preuve dans cette multitude d'erreurs répandues dans les ouvrages de ceux qui prétendent ne parler que d'après l'expérience. Dans le fait, on voit qu'ils l'ont conſultée ; mais avec un eſprit préoc-

cupé de l'opinion qu'ils avoient embraſſée, avec le déſir de la trouver favorable à cette opinion, & cette manière de l'interroger eſt la cauſe des erreurs dans leſquelles ils ſont tombés. Je veux donc que, mettant de côté toute prévention quelconque, il ne voie dans l'expérience que ce que l'expérience lui montre.

Au défaut de ce guide, qui ne peut le conduire par-tout, je veux que le phyſicien ait recours à l'obſervation & à l'analogie; mais je veux auſſi qu'il ſe tienne ſur ſes gardes lorſqu'il eſt obligé d'uſer de ces deux moyens : excellens en ſoi, ils peuvent cependant l'égarer,

mais encore par sa faute. Souvent en effet, il ne voit dans l'observation que ce qu'il a dessein d'y voir, & non ce qu'il devroit y voir, & c'est ici, comme précédemment, sa prévention en faveur d'une opinion qui lui plaît, qui enfante cette erreur : cette prévention, si contraire aux progrès de la science, fait sur son esprit ce que feroit sur ses yeux un verre coloré à travers lequel il observeroit les objets qui l'environnent : il les verroit tous participer plus ou moins à la couleur dont ce verre seroit teint.

Je dis la même chose de l'analogie : elle l'égarera toujours, tant qu'il ne sera point assez prudent

pour la renfermer dans de justes bornes, tant qu'il lui donnera plus d'extension que ne le permettront l'expérience, l'observation, ou le raisonnement qui la lui présenteront.

Instruits par l'exemple des autres, & connoissant, comme nous les connoissons, les causes qui vicient l'excellence des moyens que la bienfaisance de la nature nous met entre les mains pour diriger nos études, & nous élever à la connoissance de ses merveilles, nous les emploierons ces moyens avec les précautions que nous venons d'indiquer, & nous tâcherons de nous garantir de l'erreur. Si cependant l'amour de la vérité qui nous

anime & le désir de la faire connoître à nos lecteurs, ne suffisent point pour la découvrir toujours, ils n'auront point à nous reprocher de n'avoir pas fait tous nos efforts pour y atteindre, & mériter la confiance dont nous les prions de nous honorer.

Chacun a sa manière de diviser la Physique. Nous en avons adopté une particulière pour nos élémens, & cette division a mis dans tout son jour le plan que nous avions conçu. Nous en adopterons une autre ici plus conforme à celui que nous nous proposons de suivre, & elle aura cet avantage, qu'elle sera moins compliquée, en ce qu'elle présentera toute l'étendue de la Phy-

ſique ſous deux points de vue ſeulement. Nous la diviſerons donc en deux parties : en *Phyſique générale*, & en *Phyſique particulière.*



PREMIÈRE PARTIE.

De la Physique Générale.

J'appelle *Physique Générale* celle qui ne considère les corps que relativement à ce qu'ils ont de commun, à ce qui leur convient à tous, ou au moins à tous les individus d'une même espèce. De là les principes qui entrent dans leur composition, les propriétés dont ils sont tous revêtus, les loix qui les dirigent dans leurs mouvemens ou dans leur équilibre, font le principal objet de la Physique générale, objet que nous développerons & que nous présenterons dans autant de Chapitres particuliers.

CHAPITRE PREMIER.

Des principes des Corps.

On donne le nom de *corps* à toutes les parties de l'univers matériel qui tombent ſous nos ſens, ou qui ſont capables d'affecter de quelque manière que ce ſoit ces organes. Je dis de quelque manière que ce ſoit ; parce qu'il y a quantité de corps auxquels leur trop grand éloignement, ou leur extrême ténuité ſemble avoir ravi cette faculté que l'on a ſu leur rendre. Que de corps, en effet, étoient perdus pour nous, dans l'immenſité des cieux, avant l'invention des lunettes ! Combien n'en

découvririons-nous pas encore d'autres, lorſque le fameux *Herſchel* aura exécuté ſon ſuperbe téleſcope, l'objet des déſirs les plus empreſſés des aſtronomes. Si nous paſſons d'une extrémité à l'autre; que de corps échappoient à la foibleſſe de notre vue avant l'invention & la perfection des microſcopes! Que ces deux ſortes d'inſtrumens ont admirablement étendu le domaine de nos ſens! Qu'ils doivent être précieux l'un & l'autre au phyſicien! Que dis-je! à tout amateur, qui ſait apprécier les merveilles de la nature, & qui ſe plaît à les conſidérer! Mais ne parlons que des corps qui affectent immédiatement nos ſens, de ceux qui peuvent

devenir le ſujet de nos expériences, & tâchons de découvrir leurs principes.

L'hiſtoire des différentes opinions philoſophiques à cet égard, & qui ont ſucceſſivement régné dans l'école, depuis l'origine de la phyſique juſqu'à ce jour, ſeroit la preuve la plus concluante que je pourrois apporter des erreurs dont l'eſprit humain eſt capable, lorſque, laiſſant de côté les véritables moyens qui pourroient le conduire à la vérité, il ne conſulte que ſon imagination & s'attache opiniâtrement aux idées qu'elle enfante.

On imagina d'abord que les principes des corps, les premiers rudimens de la matière, ne pouvoient

être que des êtres ſimples, & cette idée, dont on ne voulut point s'écarter pendant long-temps, donna naiſſance à une multitude d'abſurdités qui déshonorèrent le berceau de la Phyſique, & confirmèrent pendant pluſieurs ſiècles, ce que diſoit anciennement *Cicéron* : *qu'il n'eſt rien d'abſurde qui ne ſoit ſorti de la tête d'un philoſophe.*

Sans remonter plus loin que *Zénon*, qui vivoit cinquante ans avant l'Ère chrétienne, n'étoit-il pas abſurde de ſoutenir, comme il le ſoutenoit, que la matière ou les corps étoient primitivement compoſés de points inétendus ? Qui pourra concevoir que deux, ou pluſieurs inétendues réunies, formeront une étendue ? N'eſt-ce pas

précisément comme si on disoit que deux, ou plusieurs zéros, ajoutés à un zéro, forment une quantité déterminée ?

Bien que fort accréditée dans l'école, *Leucipe* & *Démocrite* comprirent parfaitement l'absurdité de cette opinion : ils la rejetèrent ; mais ils lui en substituèrent une autre qui n'étoit pas moins absurde. Ils firent revivre les atomes de *Moschus* le Sydonien ; ils les regardèrent comme les véritables élémens de la matière, & ils donnèrent à ce système suranné une nouvelle forme qui, sans le rendre meilleur, en fit le système dominant. *Epicure* vint ensuite qui l'embrassa, & y fit plusieurs changemens ; mais il y laissa sub-

ſiſter la plus grande des abſurdités qu'on eut à lui reprocher, *la non-création des atomes*. Il les regardoit comme des êtres éternels & increéés. Il leur attribuoit des grandeurs & des figures différentes, & malgré cela, il vouloit qu'il fuſſent inſécables, parce qu'il les ſuppoſoit parfaitement durs.

A la longue, ce ſyſtème fut abandonné de tout le monde, & peut-être aujourd'hui ſeroit - il enſeveli dans la nuit d'un éternel oubli, ſi *Gaſſendi*, l'un des plus célèbres philoſophes du dix-ſeptième ſiècle, ne l'eût adopté & ne l'eût remis en vogue, après l'avoir rectifié ſur pluſieurs points; mais ſur - tout après avoir dépouillé les atomes du privilége de l'éternité, qu'*Epicure* & ſes

prédéceſſeurs leur avoient gratuitement accordé.

A cette époque, tous les phyſiciens devinrent atomiſtes à l'exception du fameux père *Magnan*, qui s'éleva le premier contre cette ſecte renaiſſante & a démontré la fauſſeté de ce ſyſtème, dans ſon Cours de Philoſophie. Si on ne peut diſconvenir qu'il le refuſa parfaitement, plus heureux à détruire qu'à créer, on peut lui reprocher d'avoir ſubſtitué aux atomes *des points enflés*, qui ne ſignifioient rien, & n'étoient capables de rien. Mais bientôt ces points, auſſi ridicules que les atomes firent place aux *monades* de *Leibnitz* qui ne l'étoient pas moins; & voilà comme l'imagination, ce magnifique

présent de la nature bienfaisante, se joue de ceux qui en abusent & ne savent point la modérer, ni la diriger sur les préceptes d'une sage philosophie.

Ce sont les sens & non l'imagination qu'il faut consulter, lorsqu'il s'agit de connoître les principes des corps. C'est à la chymie, qui les décompose, à nous apprendre ce qui compose les corps; à elle seule appartient de nous montrer leurs véritables principes, & c'est, en s'aidant de ses secours, que les physiciens de nos jours sont parvenus à acquérir des connoissances certaines à cet égard.

Elle leur a appris que les corps résultent de la combinaison intime

de principes de différens ordres de composition, selon qu'ils sont plus ou moins composés ou surcomposés, & qu'en derniere analyse, ou en dernière décomposition, ils se réduisent aux quatre élémens suivans : *la terre*, *l'eau*, *l'air* & *le feu*; qu'on appelle plus communément *le principe inflammable*, ou *le phlogistique*. *Aristote*, le père de la philosophie ancienne, avoit annoncé cette vérité & il faut convenir qu'il est bien humiliant pour les philosophes, de s'en être écarté pendant tant de siècles, avec tous les moyens qu'ils avoient de la confirmer.

Quoi qu'il en soit, il se présente ici une question à laquelle nous ne nous chargerons pas de répondre en

ce moment. On demande ſi les quatre élémens, que nous venons d'indiquer, doivent être regardés comme les principes primitifs des corps ? Si ce ſont des êtres ſimples, ou s'ils ſont eux-mêmes composés d'êtres plus ſimples encore ? Juſqu'à ce jour on les a regardés comme les êtres les plus ſimples que nous connuſſions. L'analyſe & la ſynthèſe ſont venues à l'appui de cette opinion ; la première, en ce quelle ne peut mordre ſur aucun, ni le décompoſer, & parce qu'elle les a toujours trouvés les mêmes dans la décompoſition des corps ; la ſynthèſe, parce qu'en les réuniſſant, elle a fait renaître, & toujours reproduit les corps dont l'analyſe les avoit extraits.

Cependant, aujourd'hui que la chymie s'eſt perfectionnée, elle ſemble nous apprendre le contraire, au moins par rapport à l'eau. On prétend qu'on eſt parvenu à la décompoſer, & on aſſure qu'elle eſt compoſée *d'air inflammable* & *d'air déphlogiſtiqué.*

On conçoit parfaitement qu'il eſt indiſpenſablement néceſſaire de connoître les deux nouveaux êtres qui ſe préſentent ici ſur la ſcène, avant d'expoſer & de développer les preuves ſur leſquelles on fonde la nouvelle opinion que la plupart de nos chymiſtes actuels ont embraſſée, & qu'ils cherchent à confirmer par de nouvelles expériences plus déciſives que celles qui lui ont donné naiſſance.

Nous remettrons donc à en parler dans le chapitre que nous consacrerons à l'eau, & ce chapitre se trouvera dans la seconde Partie de notre Physique, où nous traiterons en particulier des autres élémens & de leurs propriétés.

D'ailleurs, il s'en faut de beaucoup que la composition de l'eau puisse être regardée comme certaine, & quand cette opinion seroit aussi vraie qu'elle est douteuse, il s'ensuivroit seulement qu'au lieu de ranger l'eau parmi les principes primitifs des mixtes, elle n'en seroit qu'un principe secondaire, ou du second ordre ; ce qui s'accorde parfaitement avec ce que nous venons

de dire, dans le moment, des principes de différens ordres de composition, qu'on ne peut s'empêcher d'admettre dans les corps, à raiſon qu'ils ſont plus ou moins composés, ainſi que l'analyſe chymique le démontre tous les jours.

De l'union de ces principes de différens ordres réſultent ce qu'on appelle *les parties intégrantes des corps*, qui ſont les plus petites parties qui entrent dans leur composition, & qui, ſéparément priſes, ſont de même nature que le corps dont elles font partie, & jouiſſent de toutes ſes propriétés; mais qu'en-

tend-t-on par propriété dans les corps ? c'eſt ce que j'examinerai dans le Chapitre ſuivant.



CHAPITRE

CHAPITRE SECOND.

Des propriétés générales des Corps.

J'appelle *propriété* dans un corps, tout ce que j'apperçois de conſtant dans ce corps, & ce qui m'affecte toujours de la même manière. Si je vois que cette propriété ſe faſſe remarquer dans tous les corps, qu'elle en ſoit inſéparable, qu'elle leur convienne dans toutes circonſtances données, je l'appelle *propriété générale.* Je range dans cette claſſe *l'étendue, la figure, la diviſibilité, la poroſité, la compreſſibilité, & l'impénétrabilité ;* ce ſont autant de propriétés générales des

corps qu'il eſt important de connoître, & que je vais développer dans l'ordre que je les ai indiquées.

PREMIÈRE SECTION.

De l'étendue & de la figure des Corps.

Tous les corps ſont étendus & figurés, c'eſt une vérité de fait univerſellement reconnue en phyſique. On ne diſpute même pas ces deux propriétés aux plus petites portions de la matière, à ces êtres que l'œil ne peut ſaiſir qu'à l'aide d'un inſtrument qui les groſſit aſſez pour les rendre ſenſibles. Par-tout où la matière exiſte, elle exiſte avec une certaine portion d'étendue, & cette

étendue eſt toujours figurée ; mais il ſe préſente ici deux queſtions ſur leſquelles on a long-temps diſputé, & l'une d'elles, celle qui concerne l'*étendue*, a fait imaginer une multitude d'opinions que je paſſerai ſous ſilence pour l'honneur de la philoſophie, diſons mieux, pour l'honneur de ceux qui les ont imaginées. En ſe tourmentant, comme on l'a fait, pour découvrir la nature de l'étendue, pour ſavoir ſi elle conſtitue l'eſſence de la matière, on devoit comprendre que c'eſt un des myſtères de la nature, un ſecret impénétrable au philoſophe. Pourquoi, au lieu de dogmatiſer, ſur cet objet, ne convint-il point de ſon ignorance ? En rendant cet

hommage à la vérité, il se fût acquitté de son devoir, & il se fût épargné bien des disputes qui n'ont servi qu'à constater davantage son ignorance.

Quant à la seconde question, celle qui concerne la figure des corps, elle mérite de trouver ici sa place, & nous y répondons d'autant plus volontiers que l'expérience vient à l'appui de notre réponse. On demande donc si la figure dont tous les corps sont doués, est un caractère particulier qui distingue chaque individu pris dans une espèce quelconque, de tout autre individu de même espèce? Dans cette question, comme dans toute autre, les sentimens sont partagés:

les uns tiennent pour l'affirmative, les autres pour la négative, & de part & d'autre on ne manque point de raiſons métaphyſiques en faveur de ſon opinion. Je me diſpenſerai de les rapporter, parce qu'il s'agit ici d'un fait ſenſible, & qu'en pareilles circonſtances, ce n'eſt ni le raiſonnement, ni l'imagination, mais les ſens qu'il faut conſulter, & ces juges, les ſeuls compétens en cette matière, ont irrévocablement prononcé ſur cette queſtion : ils nous ont appris qu'il n'exiſte point de parties ſimilaires dans la nature, qu'on ne trouve point deux êtres de même eſpèce ſi parfaitement ſemblables, qu'on

puiſſe les confondre, & les prendre l'un pour l'autre.

Une foule d'expériences atteſte ce fait : je me borne à une ſeule, parce qu'elle eſt très-concluante & qu'elle fut faite avec ſoin, dans le ſiècle dernier, par pluſieurs ſavans philoſophes qui n'étoient point d'accord entr'eux, & diſputoient beaucoup ſur cette queſtion. Ils étoient alors aſſemblés dans le jardin d'Hanovre, en préſence de l'Electrice, qui prenoit intérêt à cette diſpute.

Cette princeſſe, ne voulant s'en rapporter qu'à ſes ſens, ſur un objet dont ils pouvoient juger, leur propoſa de dépouiller entièrement de ſes feuilles l'un des gros arbres du jardin, & de les examiner ſoi-

gneusement les unes après les autres. L'expérience étoit longue & pénible à faire : n'importe, la proposition fut acceptée, & chacun se mit à l'ouvrage. Quand il s'agit de plaire à une dame,

Tout Philosophe est un Lubin :
La peine ne lui coûte rien.

On prit donc une feuille qui servit de terme de comparaison pour toutes les autres feuilles, qui ne se trouvèrent point endommagées, & on n'en vit pas deux parfaitement semblables dans la multitude de celles qu'on examina. Toutes présentèrent des différences individuelles qui les distinguoient les unes des autres, & raisonnant par

analogie, nos philoſophes ſe ſéparèrent, bien perſuadés qu'il n'y a point de figures ſemblables dans la nature. Tous les corps étant étendus & figurés, je veux dire, terminés par un nombre plus ou moins grand de côtés tous diſtingués, & conſéquemment ſéparables les uns des autres, j'en conclus qu'ils ſont tous diviſibles, ou que la diviſibilité eſt une des propriétés générales de la matière, & cette propriété ſera le ſujet de la Section ſuivante.

SECONDE SECTION.

De la diviſibilité des Corps.

Perſonne ne conteſte aux corps cette propriété; tout le monde con-

vient qu'ils sont divisibles ; mais jusqu'à quel point le sont-ils ? c'est-là le sujet d'une grande dispute qui n'est point encore terminée, à la honte de ceux qui se plaisent à l'entretenir. Les uns veulent que la matière soit divisible à l'infini ; les autres soutiennent le contraire, & prétendent qu'elle cesse d'être divisible dès qu'on est parvenu à la réduire à ses premiers élémens, qu'ils regardent comme indivisibles. La métaphysique la plus subtile se prête, on ne peut mieux, à cette dispute, dans laquelle, comme dans bien d'autres, on finit par ne s'entendre plus, & cela, parce qu'au lieu de convenir des faits, ou d'exposer clairement l'état de la ques-

tion, on l'expofe d'une manière vague & indéterminée, de façon que chacun l'entend à fa manière. Cependant, point de problème plus facile à réfoudre en Phyfique, lorfqu'il eft bien préfenté.

S'il s'agit, en effet, d'une divifibilité idéale, métaphyfique, & purement mathématique, de favoir fi quelque divifée que foit la matière, on conçoit qu'elle foit encore divifible; il eft conftant qu'on doit tenir pour l'affirmative, & les preuves les plus folides viennent de toutes parts à l'appui de cette affertion. La géométrie nous en fournit plufieurs, que que je laiffe de côté. Je ne m'arrête qu'au raifonnement fuivant, parce qu'il eft auffi fimple que concluant.

Je demande donc ce qu'opère la division dans un corps, & la réponse se présente sur le champ à l'esprit : elle diminue l'étendue de ce corps, & elle la diminue d'autant plus, qu'on la réitère davantage ; mais elle a beau la diminuer, elle ne peut la détruire : d'où je conclus que, quelque petites que soient les parties d'un corps prodigieusement divisé, elles sont encore étendues. Supposons que cette division soit poussée plus loin, ne mettons même pas de bornes à cette supposition, & je répondrai la même chose. Je dirai que les parties qui naîtront de ces nouvelles divisions, iront, à la vérité, en diminuant de grandeur, mais qu'elles conserveront toujours une certaine

portion d'étendue. Fût-elle infiniment petite, n'importe, elle sera nécessairement figurée; puisque la figure est le résultat nécessaire des bornes qui terminent en tous sens une étendue matérielle.

Or, on démontre en géométrie, que la plus simple de toutes les figures imaginables est composée de trois côtés & de trois angles qui ne peuvent être confondus entre eux. Quelque petite que soit donc une portioncule de matière, on y trouve au moins trois parties distinctes, qu'on conçoit comme séparables les uns des autres, & conséquemment, quelque divisée que soit la matière, on conçoit qu'elle est encore divisible. Sa divisibilité idéale & métaphysique

physique ne reconnoît donc point de bornes, & en ce ſens, on peut, & on doit ſoutenir qu'elle eſt diviſible à l'infini.

Mais s'il s'agit d'une diviſibilité réelle & phyſique, d'une diviſibilité à effectuer, ce n'eſt plus la même choſe & il s'en faut de beaucoup que la matière ſoit diviſible à l'infini. Eſt-on, en effet, parvenu à porter la diviſion d'un corps juſqu'à un certain point, alors ſes parties ont acquis un degré de ténuité qui les dérobe à toute l'activité des agens que nous pourrions employer pour les atténuer davantage & leur diviſion devient impraticable. Nous concevons qu'elles ſont encore diviſibles, mais les moyens nous manquent pour les diviſer. Con-

ſidérée donc en elle-même, la matière eſt diviſible à l'infini; mais par rapport à nous, elle ne l'eſt que juſqu'à un certain point & c'eſt, en deux mots, la véritable réponſe à cette fameuſe queſtion, ſur laquelle on a tant écrit contradictoirement, à la honte des deux partis qui n'ont montré, dans cette diſpute, qu'un défaut d'intelligence, ou peut-être de bonne foi.

Diſons donc ſimplement que la matière eſt prodigieuſement diviſible, & ſi on me demande juſqu'à quel point on peut profiter de ſa diviſibilité pour la diviſer réellement? Je répondrai que je l'ignore; mais ce que je n'ignore pas, & ce que je puis facilement prouver, c'eſt qu'elle eſt diviſible au-delà de l'idée qu'on

pourroit s'en former, avant de connoître les preuves sur lesquelles cette assertion est solidement établie.

Qui croiroit, par exemple, qu'une seule once d'or peut s'étendre sous le marteau, au point de former une surface de plus de quatorze mille pouces en quarré? Qui croiroit que la même quantité d'or peut s'alonger, en passant par une filière, au point d'acquérir plus de cent lieues de longueur? Ce sont, cependant, deux faits incontestables, & de la certitude desquels on peut se convaincre par ses propres yeux, en visitant les ateliers où ces opérations se pratiquent.

Dans l'un, on verra, avec autant de plaisir que de surprise, une multi-

tude de travaux qui ſe ſuccèdent, depuis la fonte de l'or, pris en chaux chez l'affineur de la monnoie, juſqu'à ce qu'on ſoit parvenu à réduire une once de ce métal à ſeize cents feuilles quarrées, de trois pouces & une ligne de côté chacune; mais pour l'amener à cet état, qu'elle patience, quelle induſtrie de la part de celui qui le travaille, en le battant ſucceſſivement avec différentes eſpèces de marteaux! Avec quelle adreſſe il le manie, à meſure qu'il s'étend! Quelle dextérité pour le renfermer ſucceſſivement dans quatre eſpèces de moules, ou de livrets! Ne parlons point des deux premiers qui ſont de vélin, mais des deux autres, faits d'une membrane de l'inteſtin

du bœuf, bien dégraissée & convenablement préparée, membrane qu'on connoît sous le nom de *baudruche*. A quoi bon, nous demandera-t-on, tant de soins, tant de précautions dans ce travail ? c'est pour garantir le métal d'être déchiré sous les coups redoublés qu'on lui porte.

Mais comment l'homme a-t-il imaginé d'aller chercher, dans le boyau du bœuf, cette pellicule déliée, sans laquelle il ne fût jamais parvenu à amincir si bien l'or, pour orner à moins de frais les lambris de nos appartemens ? La baudruche étoit-elle connue avant qu'on l'employât à cet usage, ou cette précieuse découverte est-elle le fruit du génie de l'artiste qui cherchoit à perfectionner son art ?

L'hiſtoire des inventions de l'eſprit humain n'en dit rien. Tout ce que je puis aſſurer, c'eſt que les Romains ne ſe ſervoient point de ce moyen. Auſſi l'art de battre l'or n'étoit point, à beaucoup près, ſi perfectionné chez eux. Malgré cela, cependant, le luxe avoit fait aſſez de progrès dans cette capitale de l'Empire, pour que de ſimples particuliers fiſſent dorer, à grands frais, les plafonds & les murs de leurs appartemens. La ruine de Carthage avoit introduit dans Rome ce luxe inconnu juſqu'alors & le premier eſſai en fut fait ſur les murs du capitole : ils furent dorés ſous le conſulat de *Lucius Mummius*.

Gardons-nous, cependant, de faire

à ces vainqueurs du Monde un reproche que nous méritons plus qu'eux, & bornons-nous à admirer ici la multitude étonnante des parties qu'on peut tirer d'une once d'or, lorſqu'elle eſt auſſi prodigieuſement étendue. Le nombre en ſera encore plus grand dans le procédé que nous allons indiquer.

Quel travail que celui-ci ! quelles peines on prend, dans l'atelier du tireur d'or, pour alonger un cylindre d'argent doré de vingt-deux pouces de longueur, au point de pouvoir être filé ſur la ſoie & d'être enſuite travaillé à l'aiguille pour enrichir nos parures ! mais ne conſidérons ce travail que relativement à notre objet. Qui pourra déterminer le nombre de parties qu'on trouveroit dans une

once d'or ainsi préparée & recouvrant un fil de soie de plus de cent lieues de longueur, si on le divisoit en autant de parties qu'il est susceptible d'être divisé.

Peut-être aurions-nous une preuve plus frappante encore de cette prodigieuse divisibilité de la matière, s'il étoit possible de calculer l'extrême ténuité des molécules colorantes, appliquées sur la soie qui fait le tissu de nos étoffes. Il ne faut souvent, que quelques grains de matière dissoute avec art & noyée ensuite dans une large quantité d'eau, pour produire une nouvelle nuance, engendrer une nouvelle couleur, une couleur de fantaisie ; & grace à la plus petite quantité possible

de fécule colorante, voilà une nouvelle étoffe qui paroît, & qui va mettre en mouvement toutes les femmes avides de nouveautés, voilà..... Mais loin de nous toute obſervation qui pourroit n'être pas généralement goûtée. Pour toutes choſes au monde, nous ne voudrions bleſſer la délicateſſe de qui que ce ſoit. Nous obſerverons donc ſeulement, qu'en mettant à profit la ductilité d'un corps colorant, on parvient à le diviſer en un nombre inconcevable de parties, & nous ajouterons, qu'en parcourant les ateliers élevés & ſoutenus ſur l'inconſtance de nos goût & de nos caprices, nous trouverions bien d'autres témoignages

de la vérité que nous nous propo-ſons d'établir.

Mais pourquoi chercher ſi loin des preuves que la nature nous offre ſi abondamment, & nous met continuellement ſous les yeux dans la production des êtres inſenſibles, l'une de ſes plus belles merveilles ! preuves bien préférables aux autres, en ce qu'elles élèvent notre ame juſqu'à l'Auteur de ces merveilles, & nous invitent à admirer ſa puiſſance & ſa fécondité.

Quelle eſt admirable en effet, cette puiſſance dans la production de ces animalcules, ces petits êtres organiſés qui échappent à la foibleſſe de notre vue, & que nous ne pouvons ſaiſir qu'à l'aide d'un microſ-

cope ! Qui pourra comprendre leur organiſation intime, l'extrême ténuité de leurs parties, mais ſur-tout la ſubtilité des molécules de la lymphe ou des liqueurs qui circulent dans leurs vaiſſeaux, lorſqu'il ſaura que la totalité de leur maſſe n'excède point la vingt-ſept millionème partie de la groſſeur d'une mitte ?

S'il s'élevoit quelque doute ſur cette aſſertion, je répondrois que c'eſt le réſultat d'une obſervation faite par M. *de Malezieu*, en préſence de Madame la ducheſſe *du Maine* qui honoroit ce ſavant mathématicien de ſes bontés, & qui cultivoit elle-même les ſciences naturelles avec un ſuccès peu commun. J'en appellerois encore au témoignage du fameux

Lewenhoek, & de toute la ſociété royale de Londres, à laquelle ce célèbre naturaliſte fit obſerver des animaux cent millions de fois plus petits qu'un grain de ſable; & ſi je voulois un témoignage plus rapproché de nos jours, je citerois celui de l'abbé *Spallanzani* qui annonce dans ſes *Opuſcules de phyſique animale & végétale*, traduits par M. *Senebier*, des animaux auſſi inconcevablement petits. L'*animalcule*, dit-il, eſt vingt-ſept millions de fois plus petit qu'un ciron; & mille millions de ces animalcules n'égalent point en groſſeur un grain de millet. Mais pour trancher court à toute diſpute, j'en appellerois au propre témoignage de ceux qui oſeroient conteſter cette

vérité, & je leur dirois : laiſſez macérer pendant quelques jours différentes plantes dans de l'eau ordinaire; expoſez quelques gouttes de ces infuſions ſous la lentille d'un microſcope, obſervez & dites-nous enſuite ſi nous exagérons la petiteſſe des animaux qu'on y découvre.

L'eſprit s'égare dans ces ſortes de ſpéculations ; elles confondent toute la ſageſſe philoſophique, & l'homme eſt condamné à un ſilence reſpectueux en leur préſence ; ou s'il peut encore élever ſa voix, ce n'eſt que pour chanter les louanges de l'Auteur de la Nature, & publier la grandeur de ſa puiſſance.

Je n'ajouterai rien aux preuves que je viens de donner de la prodigieuſe diviſibilité de la matière,

j'obſerverai ſeulement que parmi les différens moyens dont nous nous ſervons habituellement pour la diviſer, il en eſt un qui nous met ſous les yeux une autre de ſes propriétés. Lorſqu'on voit, en effet, la plûpart des corps ſe décompoſer & ſe diviſer dans différens liquides, qui les pénètrent, comme l'eau pénètre & diviſe les ſels, peut-on douter qu'ils ſoient poreux, je veux dire, qu'il ſe trouve entre leurs parties de petits eſpaces vuides de la matière qui entre dans leur compoſition? Reſte à ſavoir maintenant ſi cette poroſité eſt une propriété générale de la matière, & c'eſt ce que nous allons examiner.

TROISIÈME SECTION.

De la porosité des corps.

L'expérience ou l'observation sont les seuls moyens de constater la porosité des corps. Il semble donc qu'il faudroit les soumettre tous à l'une ou à l'autre de ces épreuves, pour résoudre la question que nous traitons ici, savoir si tous les corps sont poreux. Bien que possible, cet examen seroit capable de rebuter la patience la plus exercée, mais à sa place, voici le moyen que je propose : choisir les corps les plus denses, les plus compactes, ceux qu'on soupçonneroit le moins d'être poreux ; mettre leur porosité en évidence, & en conclure

à plus forte raiſon que cette propriété appartient à tous les autres corps.

Dans le règne minéral, celui des trois règnes de la nature qui renferme les corps les plus denſes, le diamant ſe préſente le premier ſous ma plume & c'eſt le ſujet le plus précieux que je puiſſe offrir à nos lecteurs. Or, quelque compacte qu'il ſoit, ſa tranſparence & les feux admirables qu'il réfléchit me prouvent qu'il livre un libre accès à la matière de la lumière & qu'elle le pénètre en toutes ſortes de ſens. La matière ignée ne le pénètre pas moins facilement. Elle fait plus : elle le volatiliſe & le détruit entièrement. J'en trouve la preuve dans une ſuperbe expérience faite par M. *Darcet*, pro-

fesseur de chimie au collége royal de Paris, & répétée ensuite, de différentes manières, en 1771 & 1772, par les plus célèbres chymistes de la capitale. Je ne parlerai que de celle de M. *Darcet*; les autres, je les ai consignées dans mon Dictionnaire de Physique.

M. *Darcet* donc ayant entrepris de soumettre différentes substances à l'action d'un feu violent, celui qu'on entretient dans les fours à porcelaine, se proposa de répéter une expérience faite avec succès, dans le siècle précédent, par les ordres de *Cosme III*, grand-duc de Toscane, expérience oubliée depuis près d'un siècle, & qui cependant méritoit la plus grande attention de la part des

chimiſtes, & intéreſſoit particulièrement le commerce de la joaillerie.

Pour cela, il mit pluſieurs diamans dans des creuſets de porcelaine, & il en renferma d'autres dans des boules faites de la même pâte. Tous furent enſuite ſoumis à l'épreuve du feu, dont nous venons de parler, & tous en furent tellement pénétrés, qu'ils ſe volatilisèrent, même à travers les boules de porcelaine, & finirent par diſparoître entièrement : ils étoient donc poreux. Or, ſi le diamant eſt poreux, comment les autres corps moins denſes & moins compactes ne le ſeroient-ils pas ?

Les métaux, & rien en cela qui puiſſe nous ſurprendre, puiſqu'ils ſont moins denſes que les pierres pré-

cieuſes ; les métaux, dis-je, à la faveur des pores dont ils ſont remplis, ſe laiſſent également pénétrer par le feu, il briſe l'agrégation de leurs parties, les ſépare les unes des autres, & alors ces métaux, de ſolides qu'ils étoient, paſſent à l'état d'une parfaite liquidité; mais ce qui paroîtra plus ſurprenant, & ce qui prouvera en même temps ſa poroſité, c'eſt de voir une compoſition métallique ſe fondre dans de l'eau bouillante. On doit cette découverte ſingulière aux recherches d'un grand homme, à M. *Margraf*, qui ſe délaſſoit ainſi des travaux plus ſérieux auxquels il ſe livroit habituellement. Nous la conſignons ici, parce qu'elle nous

paroît propre à occuper agréablement les loiſirs de nos lecteurs.

Je mets dans un creuſet deux onces de biſmuth, une once de plomb, & une once d'étain, que je fais fondre enſemble dans un fourneau; lorſque le tout eſt bien coulant, je verſe cette matière liquide dans des moules de plâtre qui portent une double empreinte, & je forme par ce moyen des médailles de cette compoſition. J'attache un fil à chacune d'elles, pour les plonger commodément dans de l'eau que je fais bouillir, & pour rendre l'expérience plus ſenſible & plus agréable, je me ſers d'une cafetière de criſtal que je poſe ſur un fourneau de charbons allumés, & en peu de momens,

je vois le métal se fondre & se rassembler sur le fond de la cafetière, en forme de culot. Ce culot est si malléable, qu'on peut l'étendre sous le marteau, le percer, y attacher un fil, & recommencer l'expérience.

Egalement attaquables par les dissolvans qui leur conviennent, & qui les pénètrent, les métaux se dissolvent & s'unissent intimement à eux. L'or & la platine se dissolvent dans l'eau régale, les autres métaux dans l'eau forte, & ces dissolutions, qui prouvent la porosité des substances métalliques, sont accompagnées de phénomènes plus extraordinaires les uns que les autres; mais ces phénoménes sont du ressort de la chimie, dont nous respectons les

droits. Nous ne les expliquerons donc pas ; mais nous indiquerons à nos lecteurs les moyens de se procurer le plaisir de les produire & de les admirer.

Faites dissoudre du cuivre rouge dans une quantité convenable d'eau forte, il en résultera une liqueur fortement colorée en verd. Plongez dans cette liqueur l'anneau d'une clef, la lame d'un couteau, ou tout autre morceau de fer quelconque, & après l'espace de quelques secondes vous l'en retirerez tellement couvert de cuivre, dans toute la partie qui aura été plongée, qu'elle paroîtra convertie en cuivre.

Gardez-vous de croire qu'il se soit fait ici aucune transmutation; ce n'est

qu'une ſimple précipitation ; ce ſont les parties du cuivre diſſous, qui ſe ſont appliquées ſur le fer à meſure que l'eau forte a mordu ſur ce dernier métal, & les chimiſtes vous apprendront que ce phénomène tient à la claſſe des affinités, dont ils vous donneront la théorie.

Voudriez-vous un phénomène du même genre, & plus curieux encore? mettez au fond d'un verre, gros comme une lentille d'un amalgame fait avec de l'argent en feuilles & du mercure. Verſez enſuite par deſſus une once ou deux d'acide nitreux, dans lequel on aura fait diſſoudre de l'argent & du mercure, & qu'on aura enſuite étendu dans une ſuffiſante quantité d'eau diſtillée, & laiſſez le verre

en repos ſur une table, bientôt vous verrez le petit bouton d'amalgame ſe hériſſer de petits filets d'argent très-brillans ; de nouveaux filets s'uniront à ces premiers, & dans l'eſpace d'environ un quart-d'heure, vous verrez un petit buiſſon d'argent fort touffu, de 15 à 18 lignes de hauteur ; c'eſt ce qu'on appelle en chimie *l'arbre de Diane*, & tous les chimiſtes vous fourniront les drogues néceſſaires à cette expérience.

Ces phénomènes, & pluſieurs autres que nous paſſons ſous ſilence, ſont autant de diſſolutions métalliques par les acides, & elles prouvent la poroſité des métaux. Ceux-ci & les pierres précieuſes, dont nous

avons parlé précédemment, ſont donc poreux. D'où nous devons conclure que tous les corps, à quelque règne qu'ils appartiennent, le ſont auſſi, & jamais analogie ne fut plus certaine, puiſque les ſubſtances tirées du règne minéral ſont celles qui le paroiſſent le moins.

Parlerai-je en effet des ſubſtances animales? leur pores ſe diſtinguent facilement à l'œil. On compteroit ceux des os les plus durs & dont les fibres ſont les plus ſerrées. A plus forte raiſon les autres parties des animaux ſont-elles poreuſes; & c'eſt parce qu'elles le ſont toutes, que toutes tranſpirent à leur manière. Conſidérez, par exemple, ce qui arrive à la partie laiteuſe d'un

œuf : elle s'évapore & se dissipe en peu de jours, évaporation qui nuit à la qualité de l'œuf, mais à laquelle on peut s'opposer facilement, en bouchant exactement les pores qui donnent issue à cette matière.

Or, comment les boucher ? avec de petites chevilles qu'on introduira dedans : c'est une plaisanterie, nous dira-t-on ; point du tout ; c'est un moyen très-simple, très-praticable, un moyen qui peut occuper agréablement les loisirs d'une dame à la campagne, & qui lui procurera la satisfaction de conserver des œufs frais aussi long-temps qu'elle le jugera à propos, ou au moins pendant l'espace de plus d'une année ; & le voici ce moyen :

Enduisez toute la coquille de l'œuf d'une couche légère de gomme arabique fondue dans de l'eau-de-vie, & en assez grande quantité pour que la liqueur acquerre la consistance d'un sirop un peu épais. Ce mucilage s'introduira & se moulera, pour ainsi dire, dans les pores de l'œuf; bientôt la partie liquide s'évaportant, la gomme se durcira, & chaque trou sera chevillé. L'œuf ainsi préparé, sa partie laiteuse ne pourra s'évaporer & il restera dans l'état dans lequel on l'aura pris.

Je ne dirai rien des substances végétales; leurs pores sautent aux yeux les moins attentifs. J'observerai seulement que ces substances étant artistement préparées, coupées par

tranches extrêmement minces, placées entre deux lames de verre, & enſuite expoſées ſous la lentille d'un microſcope, leur pores agrandis, par la force ampliative de cet inſtrument, offrent à l'œil de l'obſervateur le ſpectacle le plus varié & le plus admirable. On eſt étonné de la magnificence de la nature dans la ſtructure d'une multitude d'objets que nous foulons habituellement aux pieds.

Bien que je regarde comme inutile d'adminiſtrer des preuves de la poroſité des ſubſtances végétales, je veux cependant en indiquer une qui mérite de trouver ici ſa place, moins comme preuve de la poroſité de ces ſortes de ſubſtances;

qu'à raiſon d'une application aſſez curieuſe qu'on peut faire de l'expérience dont je veux parler, & c'eſt par cette application que je commence : elle exige quelques liqueurs particulières que tout apothicaire peut fournir.

La première de ces liqueurs eſt celle avec laquelle on écrit ce qu'on a deſſein de dérober aux yeux des curieux ; c'eſt une ſimple ſolution de ſel de ſaturne dans de l'eau ordinaire ; pour s'en ſervir il faut employer une plume qui n'ait point été trempée dans l'encre ; tant que le papier ſur lequel on a écrit eſt humide, l'écriture paroît aſſez ſenſiblement, mais dès que l'humidité s'eſt évaporée, il ne reſte plus que

le ſel de ſaturne dont la blancheur ſe confond avec celle du papier, & l'écriture ne paroît plus.

Alors on écrit de nouveau ſur les lignes déjà tracées ce qu'on veut bien expoſer aux yeux de tout le monde, non avec de l'encre ordinaire, mais avec de l'eau légérement gommée & dans laquelle on a éteint, à pluſieurs repriſes, un bouchon de liége allumé à la flamme d'une bougie, juſqu'à ce que l'eau gommée ſoit ſuffiſamment noircie.

Alors on aura un papier écrit que tout le monde pourra lire, ſans compromettre le ſecret de la perſonne intéreſſée; mais pour le découvrir ce ſecret, on ſe ſervira d'une liqueur très-claire & très-limpide,

qui ne ſera encore que de l'eau, dans laquelle on aura fait éteindre de la chaux vive & à laquelle on aura ajouté une certaine doſe d'orpiment : veut-on connoître la proportion de ces drogues ? on mettra dans une chopine d'eau quatre onces de chaux & deux onces d'orpiment rouge. Cette liqueur, à la vérité, répand une très-mauvaiſe odeur, mais, ſi je devine bien, il s'en trouvera pluſieurs qui feront volontiers à leurs yeux le ſacrifice de leur nez, dès qu'il s'agira de dérober un ſecret impénétrable ſans cela.

On trempera donc une éponge dans cette liqueur, & on frottera le papier écrit avec cette éponge. Alors

toute l'écriture, qui étoit viſible, s'effacera & diſparoîtra ; la première, qui étoit inviſible, ſe colorera en noir, & deviendra liſible.

Diſons maintenant un mot de l'uſage qu'on fait en phyſique de la première & de la dernière de ces liqueurs, à deſſein de prouver la poroſité des ſubſtances végétales. L'expérience eſt on ne peut plus ſimple, mais plus curieuſe que néceſſaire au but qu'on ſe propoſe en la faiſant ; elle prouve ce que perſonne n'ignore, que les feuillets d'un livre ſont poreux, & voici comme on procède.

On trace quelques caractères, ou quelque deſſein ſur un papier, ave de la diſſolution de ſel de ſaturne

on laiſſe ſécher le papier, & ce qui eſt tracé diſparoît.

Alors on met ce papier entre les premiers feuillets d'un livre, puis on verſe quelques gouttes de la liqueur, faite avec la chaux & l'orpiment, ſur les derniers feuillets de ce livre ; on y étend cette liqueur avec une éponge, ou tout autre choſe équivalant ; on ferme le livre, on le met en preſſe, & pour cela il ſuffit de s'aſſeoir deſſus.

Comme très-évaporable, cette dernière liqueur pénètre à travers l'épaiſſeur du livre, & celles de ſes parties qui rencontrent les caractères formés avec le ſel de ſaturne, les colorent plus ou moins, & les rendent ſenſibles dans l'eſpace de

quelques minutes, & on en conclut que le papier, qui eſt une ſubſtance appartenante au règne végétal, eſt poreux. La concluſion eſt juſte; mais, comme je le diſois dans le moment, elle ne nous apprend rien de nouveau; c'eſt donc aux premières expériences que je m'en tiens; elles me prouvent que tous les corps ſont poreux. Examinons maintenant s'ils ſont tous compreſſibles.

QUATRIÈME SECTION.

De la compreſſibilité des Corps.

A raiſon de leur poroſité, les parties ſolides des corps ne ſe touchent que par quelques points, &

ſont comme iſolées par rapport aux autres : or, ces parties étant plus ou moins ſéparées, ſuivant les dimenſions des pores interpoſés, la grandeur apparente des corps, ou leur volume, excède toujours celui qui appartient réellement à la matière dont ils ſont compoſés, & comme cet excès de volume varie preſqu'individuellement, je veux dire dans preſque tous les individus de la même eſpèce, il en réſulte des différences plus ou moins ſenſibles dans la denſité des corps.

J'appelle *denſité* dans un corps, la quantité de matière propre qu'il contient ſous un volume déterminé, & je dis qu'il eſt d'autant plus denſe qu'il contient plus de matière, ou

qu'il pèſe davantage ſous ce volume. L'or, par exemple, eſt le plus denſe des métaux, puiſqu'il pèſe plus qu'aucun d'eux ſous les mêmes dimenſions, ou ſous le même volume.

Cette qualité, qui appartient eſſentiellement à tous les corps, n'eſt point une qualité abſolue dans aucun d'eux : elle varie en plus & en moins, ſuivant nombre de circonſtances dans le détail deſquelles nous ne deſcendrons point. Nous obſerverons ſeulement qu'un corps devient plus denſe, lorſque ſes parties ſe raſſemblent ſous un plus petit volume, & moins denſe, lorſqu'elles s'écartent davantage les unes des autres. Le froid & la chaleur

produiſent

produiſent ces deux effets : pendant l'hiver, le volume des corps diminue, leurs parties ſe reſſerrent, ſe rapprochent & leur denſité augmente; le contraire arrive pendant l'été, leurs parties s'écartent, leur volume augmente & leur denſité diminue. Ces deux effets dépendent de la préſence, ou de l'abſence de la matière ignée; préſente, elle les pénètre plus ou moins abondamment, elle agit ſur leur texture intime; elle tend à écarter & elle écarte effectivement leurs parties. C'eſt ainſi que différentes ſubſtances ſe tuméfient & augmentent de volume ſur le feu, tandis que la plupart d'entre elles perdent une partie de leur matière propre, qui ſe

volatilise ; mais elles reprennent leur premier volume lorsqu'elles se refroidissent, en supposant qu'elles n'aient rien perdu de leur matière propre.

Une force extérieure, ou extérieurement appliquée aux corps, peut aussi produire l'un de ces effets, resserrer leurs parties, diminuer leur volume & augmenter leur densité : cette force se nomme *force compressive*, & son effet, *compression.* C'est ainsi que, serrée entre les mains, la neige & quantité d'autres corps se pelottent & se compriment ; mais tous les corps sont-ils susceptibles de céder à l'action d'une semblable force ? sont-ils tous compressibles, & la compressibilité

eſt-elle une des propriétés générales de la matière ? c'eſt l'état de la queſtion.

Je ne connois aucun ſolide qui puiſſe réſiſter invinciblement à ſa compreſſion, en ſuppoſant que la force employée à cet effet ſoit ſuffiſante, & cela, parce qu'il n'exiſte dans la nature aucun corps qui ſoit parfaitement dur. La dureté n'eſt effectivement, de l'aveu de tous les Phyſiciens, qu'une qualité relative : on n'en juge que par comparaiſon & le corps qui paroît le plus dur, le plus ſolide, le plus compacte, n'étant point abſolument dépourvu de pores, il eſt conſtant que ſes parties peuvent ſe rapprocher & conſéquemment qu'il eſt

compreſſible. Juſque-là point de difficulté, & tous les Phyſiciens ſont d'accord entre eux.

Ils ne le ſont point également ſur le compte des liquides : pluſieurs prétendent que l'eau, par exemple, eſt incompreſſible, au moins tant qu'elle demeure dans ſon état de liquidité : car dès qu'elle devient ſolide, qu'elle ſe congèle, ils conviennent qu'elle eſt compreſſible. Un morceau de glace, en effet, eſt ſuſceptible d'être comprimé & réduit à un moindre volume; mais quelles preuves apporte-t-on de l'imcompreſſibilité de cette même glace, lorſqu'elle s'eſt liquéfiée & réduite en eau ? il s'en faut de beaucoup que ces preuves ſoient

concluantes, & le raiſonnement le plus ſimple ſuffit pour en faire ſentir la fauſſeté.

Et d'abord on nous oppoſe l'expérience faite par les Membres de l'Académie *del Cimento*, qui ne purent, dit-on, comprimer de l'eau, dont ils avoient exactement rempli une ſphère de métal; mais pourquoi, je le demande, ne purent-ils la comprimer? parce qu'à meſure qu'ils déformèrent cette ſphère en la frappant avec des marteaux, l'eau, au lieu de diminuer de volume, à proportion que la capacité du globe diminuoit, ſe filtra & ſuinta par ſes pores, & de là on conclut que l'eau eſt incompreſſible : or, cette expérience eſt fort éloignée

de préſenter cette concluſion : elle prouve ſeulement que la force compreſſive dont on fit uſage ne fut point capable de comprimer l'eau, puiſqu'elle s'échappa à travers les pores de la ſphère, avant de céder à la force qui tendoit à la comprimer. Qu'on me donne une ſphère de matière non poreuſe, s'il s'en trouvoit dans la nature, & qu'après l'avoir exactement remplie d'eau, on me faſſe voir que quelque force qu'on emploie pour la déformer, on ne peut y parvenir, & alors je croirai, non que l'eau eſt incompreſſible, mais que nous n'avons à notre diſpoſition aucune force qui puiſſe la comprimer.

Je dirai la même choſe d'une

autre expérience, qui nous montre qu'une petite colonne d'eau renfermée dans la courte branche d'un syphon, hermétiquement soudé vers le haut, ne se comprime aucunement, quoiqu'on la charge d'une colonne de mercure de près de sept pieds de hauteur, & qui triple sur elle le poids de l'atmosphère. Je dirai que quelque grande que soit cette force, elle n'est point suffisante pour la comprimer, & c'est l'opinion de l'Abbé *Nollet*, excellent juge en cette matière.

Tout nous porte à croire, dit-il, que les liqueurs céderoient enfin d'une manière sensible, s'il étoit possible de les soumettre à de plus grandes pressions. Et sur quoi, nous

demandera-t-on, ſans doute, appuie-t-il cette aſſertion? le voici : tous les corps ſolides ſe compriment, parce qu'étant poreux, leurs parties peuvent ſe rapprocher; mais qu'eſt-ce qu'une liqueur, ſinon un aſſemblage de petits corps ſolides que nous ne pouvons pas regarder comme des êtres ſimples, mais plutôt comme de petites maſſes compoſées de parties qui ne ſont pas ſi étroitement unies, qu'elles ne laiſſent de petits vuides entre elles. Si donc la poroſité rend les grands corps ſuſceptibles de compreſſion, la même cauſe ne doit-elle pas avoir le même effet dans les plus petits? tout ce qu'on peut dire, ajoute-t-il, c'eſt que la compreſſibilité doit diminuer, comme

la grandeur des corps, c'eſt-à-dire, que les plus petits ſont les moins compreſſibles, & conſéquemment les parties d'une liqueur, à raiſon de leur extrême petiteſſe, ſont à l'épreuve des plus grandes forces.

On ne peut raiſonner plus ſagement ſur ce ſujet, & la réflexion que fait enſuite ce célèbre Phyſicien n'eſt ni moins ſage, ni moins importante. Il eſt avantageux pour nous, dit-il, que tout ce qui eſt liquide puiſſe réſiſter à des preſſions qui rapprochent les parties des autres corps & les broyent. Tout ce que nous tirons des végétaux par expreſſion, le vin, le cidre, les huiles, &c. ne ſe ſépareroient jamais des parties ſolides

qui les renferment, ſi les liquides pouvoient ſe comprimer comme elles. Les fruits, ſoumis à la preſſe, ne feroient qu'y changer de volume.

Bien cependant que tous les corps ſoient compreſſibles, ils ne le ſont que juſqu'à un certain point, au-delà duquel il n'eſt plus poſſible de les comprimer; c'eſt ce qui doit néceſſairement arriver lorſque leurs parties ſe touchent par tous leurs points, & cela, parce que tous les corps ſont impénétrables, ou que l'impénétrabilité eſt une des propriétés générales de la matière, comme nous allons le démontrer.

CINQUIÈME SECTION.

De l'impénétrabilité des Corps.

J'appelle *impénétrabilité* dans les corps cette résistance qu'ils opposent à leur déplacement, & qui fait qu'un corps, occupant un espace, exclut de ce même espace tout autre corps qui voudroit s'en emparer. On ne doute nullement que cette propriété n'appartienne aux solides, & on conçoit facilement qu'un corps de cette espèce ne pourra se loger dans un espace occupé par un autre de même espèce, tant que celui-ci demeurera dans cet espace. C'est une vérité constante, mais

quelque constante qu'elle soit, elle ne paroît point aussi frappante lorsqu'un espace, une capacité quelconque n'est remplie que par un fluide, & sur-tout par un fluide invisible, tel que l'air.

Une bouteille, par exemple, est remplie d'air, & cependant on la remplit encore facilement d'eau, ou de toute autre liqueur, sans éprouver une résistance sensible. L'air se laisseroit-il donc pénétrer? point du tout: à mesure que la liqueur s'insinue dans la bouteille, l'air s'en échappe & lui abandonne la place; de sorte qu'il ne reste plus d'air dans cette bouteille, au moment où elle est entièrement remplie d'une autre liqueur.

Ceux qui ne ſaiſiſſent que ce qui tombe ſous leurs ſens, pourront très-bien comprendre cette vérité; mais comprendront-ils auſſi facilement la concluſion qui s'enſuit? Comprendront-ils que l'air eſt impénétrable & que, s'il ne trouvoit une iſſue qui lui permît de s'échapper de la bouteille, on ne pourroit y introduire toute autre eſpèce de liqueur quelconque? il faut donc leur mettre ſous les yeux cette vérité, qui n'eſt pas moins conſtante que la précédente.

J'introduis dans le goulot d'un flacon un entonnoir dont la queue s'adapte exactement à cette ouverture, & de façon qu'elle ne laiſſe autour d'elle aucune iſſue à l'air

dont le flacon eſt rempli. Pour ſceller plus exactement cette iſſue, j'entoure de cire molle la queue de l'entonnoir & le bord du flacon. Cela fait, je remplis d'eau l'entonnoir, & je vois que malgré tout l'effort de ſon poids, qui la porte à ſe précipiter dans le flacon, elle demeure conſtamment dans l'entonnoir, parce que l'air, qui remplit le vaiſſeau, eſt impénétrable & ne peut s'en échapper pour lui céder la place.

De là je conclus que pour remplir facilement un flacon de toilette, par exemple, d'une liqueur odorante quelconque, il faut ſe ſervir d'un entonnoir dont la queue ſoit aſſez mince pour laiſſer, entre elle & le

goulot du flacon, un petit eſpace circulaire par où l'air puiſſe s'échapper librement.

Dans les cours de Phyſique expérimentale que je faiſois à Paris, j'avois coutume de démontrer cette vérité par une expérience qu'on revoyoit toujours avec plaiſir. Je rempliſſois preſqu'entièrement d'eau un grand vaiſſeau de criſtal fort profond; je poſois ſur la ſurface de l'eau un morceau de liège ſur lequel j'avois attaché un petit morceau de bougie que j'allumois; le tout ſurnageoit l'eau & reſtoit en cet état juſqu'à ce que je couvriſſe le liége & la bougie d'un vaiſſeau cylindrique de criſtal fermé par le haut, & que je fiſſe deſcendre ce vaiſſeau

à travers la maſſe d'eau ; alors on voyoit le liége & la bougie deſcendre, ſans s'éteindre, juſqu'au fond du grand vaiſſeau, & y demeurer allumée pendant un temps aſſez conſidérable ; à la fin cependant elle s'y éteignoit.

Je tirois deux concluſions de cette expérience. La première, que l'air eſt impénétrable, puiſque, renfermé ſous le vaiſſeau cylindrique que je plongeois dans la maſſe d'eau, il s'oppoſoit invinciblement à ce que la colonne, qui répondoit à l'ouverture de ce vaiſſeau, s'y introduisît, quelqu'effort que fiſſent les colonnes collatérales du même liquide pour l'y élever & lui faire prendre une hauteur égale à la leur, ſelon les

loix de l'hydroſtatique que j'expoſerai dans une autre circonſtance.

La ſeconde, qu'une lumière renfermée dans un eſpace où l'air ne ſe renouvelle pas, corrompt ou vicie cette maſſe d'air, au point de la rendre dangereuſe à celui qui la reſpireroit. Dès en effet qu'une lumière ceſſe de brûler & s'éteint dans une maſſe d'air donnée, c'eſt la preuve la plus certaine que cet air eſt méphitique & ne peut-être reſpiré impunément : or c'eſt ce qui arrive lorſqu'on retient pendant un certain temps la lumière renfermée ſous le vaiſſeau cylindrique dont il eſt ici queſtion.

Gardons-nous donc de demeurer trop long-temps dans des endroits

où l'air ne circule point librement, & qui sont éclairés de plusieurs lumières. Il s'y vicie insensiblement, & s'il n'est pas détérioré au point de suffoquer ceux qui le respirent, il l'est assez pour les incommoder plus ou moins. C'est ce que les personnes délicates éprouvent assez fréquemment lorsqu'elles demeurent renfermées trop long-temps dans des salles de spectacles bien fermées & grandement éclairées ; leur respiration devient moins libre, bientôt elles ressentent un certain mal-aise qui ne cesse qu'au moment où elles sont à portée, de respirer un air libre & pur.

Ces accidens se font plus particulièrement remarquer dans les loges

ſupérieures, & cela, parce que la maſſe d'air ſe corrompt plus promptement vers le haut de la ſalle. En veut-on la preuve? l'expérience ſuivante ne laiſſe aucune incertitude à cet égard.

Mettez deux bougies allumées dans un vaiſſeau en partie rempli d'eau; que l'une de ces bougies excède à peine la ſurface de l'eau, tandis que l'autre s'élevera de beaucoup au-deſſus; plus elle s'y élevera & plus l'expérience ſera ſenſible. Couvrez ces deux bougies d'un vaiſſeau de criſtal aſſez long pour les renfermer & pour être en même-temps plongé de quelques lignes dans la maſſe d'eau, afin d'intercepter toute communication entre

l'air extérieur & celui du vaiſſeau ; bientôt vous verrez les deux lumières devenir languiſſantes, moins cependant celle du bas que celle du haut, & celle-ci ſera éteinte, tandis que l'autre continuera à brûler encore quelque temps, ce qui prouve que la partie ſupérieure de la maſſe d'air ſe vicie plus promptement.

Mais comment une lumière, qui brûle dans une maſſe d'air qui ne ſe renouvelle point, la corompt-elle ainſi? pour répondre parfaitement à cette queſtion, il faudroit connoître la nature de l'air atmoſphérique, ſavoir qu'il eſt compoſé d'une portion ſalubre, la ſeule qui ſoit propre à l'entretien de la lumière, & que le reſte de ſa maſſe eſt un fluide hétérogène,

composé lui-même de différens fluides plus ou moins dangereux à respirer. Or, une lumière qui brûle dans une masse d'air atmosphérique qui ne se renouvelle point, la décompose, & consomme progressivement la portion salubre de cette masse. On ne doit donc pas être étonné qu'elle se vicie à proportion du temps pendant lequel la lumière y demeure plongée. Il seroit donc important au bien de la société, que l'air pût se renouveler facilement dans les salles de spectacles, & pour cela il faudroit, outre les ouvertures qu'on y ménage, qu'on y établît des ventilateurs; mais cet objet est étranger à l'état de la question; revenons à l'impénétrabilité des corps.

De ce que l'air eſt impénétrable, comme nous venons de le démontrer, nous nous croyons en droit de conclure que tous les corps le ſont, & que l'impénétrabilité eſt une des propriétés générales de la matière.

Cependant, à juger des choſes d'après la première idée qu'elles préſentent, combien de corps nous paroîtront pénétrables! mais auſſi, pour peu que nous réfléchiſſions ſur les phénomènes qui ſemblent nous préſenter cette idée, nous en reconnoîtrons facilement la fauſſeté, & nous apprendrons que la raiſon, ce don précieux de la Nature, doit rectifier les jugemens erronés que les impreſſions des ſens ne dictent que trop ſouvent.

Je prends un morceau de ſucre, je le poſe légérement ſur la ſurface de mon café, en peu de momens je vois toute ſa maſſe imbibée de café, & je dis que cette liqueur a pénétré mon ſucre; je le dis, & je me trompe : ce n'eſt point le ſucre, à proprement parler, qui eſt pénétré de café; ce ſont les eſpaces vuides de la matière propre du ſucre dans leſquels cette liqueur s'eſt inſinuée, & toute la maſſe du ſucre en eſt teinte, parce que l'étendue de ces eſpaces ou de ces pores eſt plus conſidérable que celle des parties propres du ſucre. Il ne ſe fait donc ici qu'une pénétration apparente, & non une véritable pénétration. Cet exemple, & pluſieurs autres ſemblables n'at-

taquent donc en rien l'aſſertion que nous venons d'établir, & il n'en reſte pas moins conſtant que l'impénétrabilité eſt une des propriétés générales de la matière. Nous n'inſiſterons pas davantage ſur cette propriété, & nous ne parlerons des autres qu'à meſure que l'occaſion s'en préſentera. Un objet plus important nous appelle, & va faire la matière du Chapitre ſuivant.



CHAPITRE

CHAPITRE TROISIÈME.

Du Mouvement.

Qu'eſt-ce que le mouvement? Pour répondre à cette queſtion avec toute la bonne foi qu'on doit attendre de nous, & dont nous nous ferons toujours gloire, nous conviendrons que nous n'avons point une idée exacte & préciſe de ce mode; car le mouvement eſt un mode, une manière d'être, & non une propriété de la matiè.e; nous dirons que nous jugeons un corps en mouvement lorſque nous le voyons paſſer d'un lieu dans un autre, état tout-à-fait oppoſé à celui du repos,

qui le retient conſtamment à la même place ; mais nous dirons en même temps qu'en regardant, avec tous les Phyſiciens, le mouvement comme le tranſport d'un corps qui change de place, nous en avons une idée ſuffiſante pour nous inſtruire de tout ce qui peut avoir rapport à cette importante modification de la matière.

Nous nous en tiendrons donc à cette définition, & nous ajouterons qu'on diſtingue, en Phyſique, différentes eſpèces de mouvemens, & quoique ces différentes eſpèces paroiſſent également bien indiquées, nous n'admettrons que les deux ſuivantes, parce qu'elles embraſſent toutes les autres. Nous diſtinguerons

le mouvement en *ſimple* & en *composé*. Le premier renferme tout mouvement produit par l'action d'une ſeule puiſſance, ou par l'action réunie de pluſieurs, qui tendent à mouvoir le corps vers un même point. Le ſecond comprend tout mouvement qui réſulte de l'action combinée de deux ou de pluſieurs puiſſances qui tendent à imprimer en même temps des directions différentes à un corps, que nous appellerons communément *un mobile*, à le porter vers différens points, non cependant diamétralement oppoſés entre eux.

De quelqu'eſpèce que ſoit le mouvement d'un corps, la vîteſſe avec laquelle il ſe meut, la force qui l'anime dans ſon mouvement, ainſi

que les loix auxquelles il eſt aſſujetti dans ce mouvement, ſont les principaux objets qui ſe préſentent à conſidérer. Nous les conſidérerons, & nous les développerons le plus ſuccinctement qu'il ſera poſſible dans les trois Sections ſuivantes.

PREMIÈRE SECTION.

De la Vîteſſe.

La vîteſſe d'un corps en mouvement s'eſtime par l'eſpace qu'il a parcouru, & par le temps qu'il a mis à le parcourir. On jugeroit mal de la vîteſſe d'un mobile, ſi on ſe bornoit à aſſigner l'eſpace parcouru, ſans indiquer le temps. Ces

deux objets, l'eſpace & le temps, ſont en effet les deux élémens qui compoſent la vîteſſe du mobile, & ſans être inſtruit des principes de la Phyſique, il n'y a perſonne qui ne ſache qu'un corps ſe meut d'autant plus vîte qu'il parcourt plus d'eſpace dans un temps donné, ou qu'il emploie moins de temps à parcourir le même eſpace.

La vîteſſe n'eſt donc autre choſe que le rapport de l'eſpace au temps, ce qui s'exprime en Phyſique par cette propoſition générale : *La vîteſſe d'un corps en mouvement eſt en raiſon directe de l'eſpace, & en raiſon inverſe du temps* : ce qui ne ſignifie autre choſe que ce que nous venons de dire d'une manière moins ſcientifique

ſavoir, que la vîteſſe croît comme l'eſpace augmente, le temps reſtant le même, ou à proportion que celui-ci diminue, ſans rien changer à l'eſpace.

On connoîtra donc la vîteſſe d'un mobile, en diviſant l'eſpace qu'il aura parcouru, par le temps qu'il aura mis à le parcourir. Le quotient de cette diviſion indiquera la vîteſſe cherchée. Si donc un mobile a parcouru un eſpace comme 12, & que pour le parcourir il ait employé trois inſtans; en diviſant 12 par 3, le quotient 4 exprimera ſa vîteſſe.

Celle-ci ſe nomme *vîteſſe abſolue*: il en eſt une autre d'une eſpèce différente, également importante à connoître, en quantité de circonſ-

tances ; celle-ci s'appelle *vîteſſe relative ;* c'eſt celle avec laquelle deux ou pluſieurs corps s'approchent ou s'éloignent les uns des autres : n'en conſidérons que deux, pour plus grande facilité, & obſervons que leur vîteſſe relative varie dans ſa manière d'être appréciée, ſelon la diverſité des cas qui ſe préſentent.

1°. Il peut ſe faire que deux corps viennent à la rencontre l'un de l'autre, en ſe mouvant ſur la même ligne. Dans ce cas, leur vîteſſe relative eſt égale à la ſomme de leurs vîteſſes abſolues ; puiſqu'ils s'approchent avec toute la vîteſſe dont ils ſont animés l'un & l'autre.

2°. Que ſe mouvant encore ſur la

même ligne, mais dans le même ſens, celui qui ſuit ſe meut plus vîte que celui qui le précède ; dans ce cas, ils ne s'approchent qu'en vertu de l'excès de vîteſſe de celui qui ſuit, & conſéquemment leur vîteſſe relative eſt égale à la différence de leurs vîteſſes abſolues. On la connoîtra donc en retranchant la plus petite de la plus grande de ces deux vîteſſes.

Ce que nous venons de dire de la vîteſſe relative de deux corps qui s'approchent, peut s'appliquer facilement à celle avec laquelle ils s'éloigneroient l'un de l'autre ; mais il faudroit procéder autrement s'ils s'approchoient, ou s'ils s'éloignoient en ſe mouvant ſur des lignes diffé-

rentes, & ceci présente une multitude de cas dans le détail desquels nous ne nous permettrons point de descendre ; nous dirons seulement que dans tous ces cas il ne s'agit que de trouver la quantité dont ils se seront approchés ou éloignés, & on aura leur vîtesse relative. Passons à une autre question.

SECONDE SECTION.

De la force d'un Corps en mouvement.

Cette force qu'on appelle en Physique *le moment*, ou *la quantité de mouvement*, est égale à la somme des forces partielles distribuées entre

toutes les parties du corps en mouvement. Il ne s'agit donc, pour la connoître, que de connoître la ſomme des forces partielles, & on la connoîtra en multipliant la vîteſſe du mobile par ſa maſſe.

Cette maſſe en effet indique le nombre des parties qui conſtituent le mobile, & la vîteſſe dont on le voit animé, vîteſſe qu'on appelle *vîteſſe commune*, en ce qu'elle eſt la même dans chacune de ſes parties, exprime la force partielle qui réſide en chacune d'elles. On aura donc la ſomme des forces partielles en ajoutant autant de fois à elle-même la vîteſſe commune qu'il y a de parties dans le mobile; mais cette addition repréſente le produit

de la vîteſſe commune par la maſſe ; donc la quantité de mouvement, ou la force d'un corps en mouvement eſt égale au produit de ſa vîteſſe par ſa maſſe.

Si un corps, en effet, dont la maſſe ſeroit égale à 4, ſe mouvoit avec une vîteſſe comme 3, ſa force ſeroit égale à 12, produit de 3 par 4. Dans la ſuppoſition donnée, ce corps ſeroit compoſé de quatre parties, qui auroient chacune trois degrés de force : or, trois degrés de force repétées quatre fois, font la ſomme de douze, qui eſt égale au produit de 3 par 4 : on aura donc la ſomme des forces partielles ou la quantité de mouvement d'un corps en mouvement, en multipliant

ſa vîteſſe commune par ſa maſſe.

D'où il ſuit, 1°. que la maſſe reſtant la même, la force totale, ou la quantité de mouvement augmentera comme la vîteſſe; 2°. que la vîteſſe reſtant la même, cette force augmentera comme la maſſe; 3°. enfin, que cette force ſera la même dans deux corps dont les maſſes ſeront en raiſon réciproque de leurs vîteſſes, je veux dire, dans deux corps dont les maſſes & les vîteſſes étant différentes, l'un gagnera en vîteſſe ce qui lui manquera en maſſe, & pour rendre cette idée plus ſenſible, je me ſers d'un exemple, & je dis qu'une maſſe comme 4, munie d'une vîteſſe comme 3, ſera en raiſon réciproque d'une maſſe comme 3, animée

animée d'une vîteſſe comme 4, & que leur quantité de mouvement ſera égale de part & d'autre, puiſque les produits de 3 par 4, ou de 4 par 3 ſont égaux.

TROISIÈME SECTION.

Des loix du Mouvement.

Le mouvement étant *ſimple*, ou *compoſé*, il eſt dans l'ordre que ſes loix ſoient appropriées à ſon eſpèce, & elles le ſont auſſi. Celles du mouvement ſimple ſont auſſi ſimples que lui ; les voici :

1°. *Tout corps en mouvement doit perſévérer dans cet état, ſuivant la même direction, & avec la même*

vîteſſe, *juſqu'à ce qu'une cauſe étrangère change ſa direction*, & *altère ou détruiſe ſa vîteſſe*. Cette loi eſt une ſuite néceſſaire de la conſtitution naturelle des corps, qui ſont des êtres paſſifs & indifférens pour toute eſpèce de modification quelconque, incapables de s'en procurer aucune, ou de changer celles qu'on leur a données.

2°. *Tout changement opéré dans le mouvement d'un corps, eſt proportionné à la cauſe qui le produit.* Cette ſeconde loi eſt un axiome, & conſéquemment d'éternelle vérité: elle ne dit en effet autre choſe que ce que dit cet axiome: *Tout effet eſt proportionné à ſa cauſe.*

3°. *La réaction eſt toujours égale*

à l'action. Ce qui ſignifie qu'un corps eſt également preſſé, ou pouſſé, par celui qu'il preſſe ou qu'il pouſſe. Pour être bien perſuadé de la vérité de cette loi, publiée la première fois par M. de *Maupertuis*, il ne faut qu'avoir fait attention à la réſiſtance qu'on éprouve à pouſſer un corps. Voilà donc trois loix du mouvement ſimple, toutes auſſi ſimples que lui & toutes auſſi faciles à comprendre les unes que les autres. Il n'en faut qu'une pour rendre raiſon de tous les phénomènes du mouvement compoſé, mais celle-ci eſt un peu compliquée, & exige quelque développement.

Pour la préſenter d'une manière plus facile à ſaiſir, nous ne ſup-

poſerons ici que deux puiſſances égales entre elles, & agiſſant en même-temps ſur le même mobile, ſelon des directions oppoſées à angle droit; l'une, par exemple, ſelon la largeur, l'autre ſelon la hauteur du feuillet de ce livre. Cela poſé, voici la loi à laquelle ce mobile eſt obligé de ſe conformer.

Si deux puiſſances égales & oppoſées à angle droit, agiſſent en même-temps ſur un mobile; en vertu de cette double action, il parcourra la diagonale d'un quarré, dont les deux côtés adjacens repréſenteront la direction & l'intenſité de chacune des puiſſances, & il la parcourra dans le même temps qu'il eût parcouru un

ſeul de ces côtés, ſi une ſeule de ces puiſſances eut agi ſur lui.

Suppoſons un corps A (*Figure 1.*) ſollicité à ſe mouvoir par l'action ſimultanée de deux forces égales, repréſentées par les côtés adjacens A B & A C du quarré A C D B; dans ce cas, il décrira la diagonale A D de ce quarré, & préciſément dans le même temps qu'il parcourroit le côté A B, ou A C de ce même quarré, ſi une ſeule de ces puiſſances agiſſoit ſur lui.

Suppoſons que ce fût la puiſſance repréſentée par A C : il eſt conſtant qu'en vertu de ſon indifférence pour toute eſpèce de mouvement, & de la néceſſité qui l'obligeroit à ſe prêter

à cette puiſſance, il arriveroit au point C, à la fin d'un inſtant donné.

Je dis la même choſe par rapport à la puiſſance repréſentée par A B, ſi elle agiſſoit ſeule ſur ce mobile: à la fin d'un inſtant, tout-à-fait ſemblable au précédent, il arriveroit au point B; mais, dans la ſuppoſition préſente, ces deux puiſſances agiſſent en même temps, & ſans être tout-à-fait oppoſées, elles ſe nuiſent, elles s'élident en partie, & chacune s'oppoſe également à ce que le mobile atteigne le but vers lequel l'autre le dirige. Qu'arrivera-t-il donc ici? le voici:

Egalement indifférent à l'une &

à l'autre de ces deux puiſſances, il ſe prêtera également aux deux, & pour cela il compoſera ſon mouvement, & prendra une direction moyenne entre les deux directions que ces puiſſances affectent; il décrira donc la diagonale A D, & il parviendra au point D, préciſément au même inſtant auquel il fût parvenu au point B, ou au point C, s'il n'eût été ſoumis qu'à l'action de l'une des puiſſances indiquées, & c'eſt la ſeule voie qu'il ait pu prendre pour ſatisfaire également à l'une & à l'autre.

Etant en effet arrivé au point D, il ſera éloigné du point B, où il ſeroit parvenu en vertu de la force exprimée par A B, autant que l'exige

la force congénère, repréſentée par A C, puiſque B D eſt égal à A C : pareillement il ſera éloigné du point C, de toute la quantité D C, égale à B, A repréſentant la force qui s'oppoſe à ce qu'il parvienne en C. Il décrira donc, dans la ſuppoſition préſente, la diagonale A D du quarré A C D B, dont les deux côtés adjacens A B & A C, repréſentent l'intenſité & les directions des deux puiſſances qui l'animent en même temps, & il décrira cette diagonale, préciſément dans le même temps qu'il eût parcouru l'un ou l'autre côté de ce quarré, s'il n'eût été ſollicité à ſe mouvoir que par l'une ou l'autre des deux puiſſances indiquées.

Mais qu'arriveroit-il, si l'une des deux puissances étoit supérieure à l'autre de façon, par exemple, que la puissance représentée par A C, devînt égale à A E, tandis que la force exprimée par A B, demeureroit la même ? Je réponds à cela : qu'il se prêteroit davantage à celle des deux qui auroit plus d'intensité, & qu'il s'y prêteroit à raison de son excès d'intensité, en prenant encore une direction moyenne entre les directions de ces deux puissances.

Ainsi donc, au lieu de parcourir la diagonale A D du quarré A C D B, il parcourroit la diagonale A F du parallélogramme A E F B, dont les deux côtés A E & A B représen-

teroient ces deux puiſſances, & je n'en veux d'autre preuve que la démonſtration précédente appliquée à la nouvelle ſuppoſition.

L'expérience confirme on ne peut mieux cette théorie, & ſans parler des machines dont on fait uſage en Phyſique pour la confirmer, machines dont j'ai donné la deſcription dans mon Ouvrage intitulé : *Deſcription & uſage d'un Cabinet de Phyſique*, je me borne à en appeler ici à deux faits généralement connus, qui l'appuieront ſuffiſamment, quoique moins rigoureuſement cependant.

Je prends un noyau de ceriſes entre mes doigts, le pouce & l'index ; je le preſſe fortement ; mon pouce

le dirige à droite, mon index à gauche: le noyau s'échappe, mais il ne va ni à droite ni à gauche, il prend une direction moyenne entre la droite & la gauche, & par une diagonale, qui m'apprend à devenir plus prudent par la suite, il va crever un œil à celui qui a le malheur de se trouver devant moi.

Je sors du Collége Mazarin dans le dessein d'aller au Louvre, & pour m'épargner la peine de faire un long circuit, j'entre dans un de ces batelets qui attendent les passans sur les bords de la Seine. La rivière est haute, & au lieu de me conduire directement où je veux aller, je vois le batelier qui me fait remonter

la rivière & me conduit auprès du Pont-Neuf : se tromperoit-il ? point du tout : il sait que le courant de la rivière entraîne son bateau vers le Pont-Royal & qu'il n'arriveroit point au but où il veut aller, s'il essayoit de la traverser directement à force de rames.

Il commence donc par la remonter, & l'habitude, plutôt que la théorie, lui a appris de combien il doit la remonter relativement à la force avec laquelle elle coule ; cela fait, il abandonne son batelet au courant de l'eau, & le faisant avancer à la rame, selon la largeur de la rivière, il aborde par une diagonale vis-à-vis de l'un des guichets du Louvre.

Concluons donc, qu'en vertu de

ſon indifférence paſſive, tout corps doit ſe prêter, non-ſeulement à l'action ſimultanée de deux puiſſances, mais encore à celle de toutes les puiſſances poſſibles qui ſe réuniroient & tendroient à le faire mouvoir. Concluons encore, qu'obligé de prendre une direction moyenne entre celles que ces puiſſances voudroient lui imprimer, ſon mouvement, ou plutôt ſa direction doit varier comme les rapports de ces puiſſances peuvent varier, & d'après ce principe inconteſtable en méchanique, il nous ſera facile d'expliquer quantité de mouvemens particuliers que nous obſervons tous les jours, tels que les mouvemens

circulaires, & plusieurs autres selon différentes courbes.

Le mouvement, par exemple, d'une poulie qui tourne sur son axe, celui des planètes, qui font leurs révolutions périodiques dans des *ellipses*, celui d'une orange qu'un homme, courant la poste à franc étrier, jette de bas en haut & qui, par une *parabole*, lui retombe, à quelques pas plus loin, dans la main, tous ces mouvemens & quelques autres, selon différentes courbes dont nous ne ferons point l'énumération, dépendent de ce principe général. Son application cependant à ces différens mouvemens, suppose d'autres connoissances particulières; elle suppose la connoissance des

forces centrales, qu'on diſtingue en *force centrale centripète*, & en *force centrale centrifuge.*

Quoiqu'il n'entre point dans notre plan d'expoſer les théories des mouvemens dans les différentes courbes, théories qui appartiennent à la haute méchanique ou à l'aſtronomie, nous croyons devoir diſpoſer nos Lecteurs à s'élever juſqu'à ces ſublimes connoiſſances. Pour cela nous leur donnerons une légère idée de la force centripète & de la force centrifuge, l'une & l'autre ſont juſqu'à un certain point du reſſort de la Phyſique.

*

CHAPITRE QUATRIÈME.

De la force Centripète.

Cette force eſt connue en Phyſique ſous différens noms. On la nomme *gravité*, & plus ſouvent encore *peſanteur*. Ce ſera ſous cette dernière dénomination que nous en parlerons dans ce Chapitre.

On entend, par *peſanteur*, une force qui maîtriſe un corps, & tend à le porter vers un centre. De là, ſans doute, eſt venu le nom de *force centripète*, force univerſelle dans la nature, en ce qu'elle s'étend à tout le ſyſtème planétaire dont le ſoleil eſt le centre commun de gravitation.

Toutes les planètes, en effet, ſont retenues dans les orbites elliptiques qu'elles décrivent, par une force qui les ſollicite vers le centre de cet aſtre.

Outre ce centre commun, vers lequel elles ſont preſſées, chacune eſt le centre particulier de peſanteur de tous les corps qui lui appartiennent. C'eſt ainſi, par exemple, que les planètes ſecondaires, qu'on appelle les *ſatellites* des planètes principales, ſont dirigées vers les centres de ces dernières. C'eſt ainſi, pour ne point ſortir de notre propre ſphère, que la lune & tous les corps ſublunaires, je veux dire, ceux qui ſont plongés dans l'athmoſphère de la terre, ſont continuellement

poussés vers le centre de ce globe. Nous nous en tiendrons à ceux-ci dans l'exposition que nous allons faire de ce qui concerne la force dont il est ici question.

Tous les corps sublunaires, sans en excepter un seul, sont pesans, ou maîtrisés par la pesanteur. Ainsi, les vapeurs, les brouillards, la fumée, & plusieurs autres espèces de corps, qui s'élèvent, pour ainsi dire, d'eux mêmes dans l'athmosphère, & qui semblent se soustraire à la force qui dirige les autres vers le centre de la terre, sont eux-mêmes soumis à cette force.

C'est à tort, & on en convient généralement aujourd'hui, que les anciens vouloient faire une classe

à part de ces ſortes de corps, c'eſt à tort qu'ils les regardoient comme légers ; ils n'ont tous qu'une légéreté reſpective, qui ne les ſouſtrait point à l'action de la peſanteur. J'en trouve la preuve dans une expérience bien connue en Phyſique. Tous ces corps renfermés ſous le récipient de la machine pneumatique, ſe précipitent ſur la platine de cette machine, à meſure qu'on fait le vuide, qu'on évacue l'air du récipient. Ils ſont donc tous réellement peſans, ce n'eſt que par accident, & à raiſon des différentes circonſtances où ils ſe trouvent, circonſtances que nous ferons connoître en traitant de *l'hydroſtatique*, qu'ils paroiſſent légers.

Elle eſt compoſée d'une eſpèce

Mais, qu'eſt-ce que la machine pneumatique dont nous venons de parler, & dont nous aurons occaſion de parler aſſez fréquemment par la ſuite ? Cette queſtion vient on ne peut mieux ici, & nous allons y ſatisfaire, autant bien qu'il eſt poſſible, ſans emprunter le ſecours d'une figure, qui fatigueroit l'attention du lecteur.

Cette machine inventée par *Otto de Guerikue*, Bourguemeſtre de Magdebourg, eſt encore connue ſous le nom de *Machine de Boyle*, parce que ce fut ce célèbre Phyſicien Anglois qui lui donna le degré de perfection qui la rend ſi précieuſe aux Phyſiciens, & qui en fait une véritable machine pneumatique.

de pompe, ou, pour nous faire plus facilement entendre, d'une ſeringue de métal ſolidement & verticalement établie dans un châſſis de forme triangulaire qui lui ſert de pied; cette ſeringue eſt ſurmontée d'une platine circulaire de même matière, de dix pouces ou environ de diamètre, ſur laquelle on étend un morceau de peau fortement imbibée d'eau.

Sur cette peau, on poſe les vaiſſeaux dans leſquels on veut faire le vuide, & ces vaiſſeaux ſe nomment des *récipiens*; ils communiquent avec le corps de pompe par le moyen d'un pilaſtre de métal, percé ſelon la longueur de ſon axe. Ce pilaſtre qui s'élève du ſommet de la pompe,

traverſe l'épaiſſeur de la platine à laquelle il eſt exactement ſoudé. Il excède de quelques lignes ſa ſurface, ſous la forme d'une petite tétine, extérieurement taraudée pour recevoir différens vaiſſeaux qui ſe montent à vis ſur cette tétine.

A la naiſſance de ce canal, & du côté de la pompe, eſt adapté un robinet dont la clef eſt percée de deux trous, l'un qui la traverſe de part en part, & ſert à établir à volonté la communication entre le corps de pompe & le récipient; l'autre n'eſt qu'un canal oblique qui règne dans la moitié de la groſſeur de la clef, s'ouvre ſur un des points de ſa ſurface, & ſe termine au bout de cette clef. Suivant que celle-ci eſt tournée,

ce canal ouvre une communication entre le corps de pompe, ou entre le récipient l'air extérieur.

Cela posé, lorsqu'on veut faire le vuide dans un récipient, on tourne la clef de façon que la capacité de ce vaisseau communique avec celle de la pompe, au haut de laquelle le piston doit être monté. On fait descendre ce piston, & une portion de la masse d'air, renfermée sous le récipient, se précipite dans la pompe. Alors on tourne la clef du robinet, de manière que son canal oblique s'ouvre du côté de la pompe, & sa communication avec le récipient se trouve formée par le même moyen. On remonte le piston, & en montant,

il pouſſe au dehors la maſſe d'air dont la pompe s'étoit remplie.

On ouvre de nouveau la communication du récipient à la pompe, on réitère la même manœuvre, & le récipient s'évacue de plus en plus. Plus il eſt grand, plus il faut de coups de piſton pour l'évacuer auſſi exactement qu'il eſt poſſible. On peut déterminer par le calcul, le nombre des coups de piſton néceſſaires à cet effet ; mais l'habitude d'opérer l'indique plus commodément. S'agit-il de reporter de l'air ſous le récipient ? on tourne la clef de manière que ſon canal oblique s'ouvre du côté du récipient, & l'air extérieur s'y introduit. Revenons maintenant à notre ſujet.

Tous

Tous les corps ſublunaires, ſans exception, ſont ſoumis à l'action de la peſanteur : je l'ai prouvé ci-deſſus. J'ajoute maintenant qu'ils y ſont tous également ſoumis. Bien qu'auſſi certaine que la précédente, je penſe que cette propoſition ſouffrira quelque difficulté de la part de ceux qui jugent des choſes d'après ce qu'elles leur paroiſſent, ſans approfondir les circonſtances qui influent ſur ces apparences.

On me dira que des corps de même volume, mais de différens poids, tombent d'une hauteur donnée avec des vîteſſes fort différentes, qu'abandonnés en même temps à l'action de la peſanteur, les plus peſans laiſſent loin derrière eux ceux qui

pèſent beaucoup moins, & on en concluera qu'ils ne ſont point tous également maîtriſés par la force qui les fait tomber.

Le fait eſt inconteſtable ; mais la concluſion n'en eſt pas moins fauſſe. Ce n'eſt point à la diverſité de l'action de la peſanteur ſur ces corps qu'il faut attribuer les inégalités qu'on remarque dans le temps de leur chûte, c'eſt à la diverſité de la réſiſtance qu'ils éprouvent de la part du milieu qu'ils traverſent en tombant, réſiſtance qui influe davantage ſur ceux qui pèſent moins, & conſéquemment retarde davantage lemoment de leur chûte.

Une expérience très-ſimple & très-facile à répéter atteſte cette vérité ;

elle prouve qu'en ſupprimant cette réſiſtance, tous les corps plus ou moins peſans tombent également vîte. Il ne faut, pour la faire, cette expérience, qu'un tube de trois à quatre pieds de longueur & de deux à trois pouces de groſſeur, exactement fermé à l'une de ſes extrémités; l'autre doit être garnie d'un robinet fort exact qui puiſſe ſe monter à vis ſur la tétine de la machine pneumatique.

On renferme dans ce tube deux corps de même volume, mais de poids bien différens; un morceau de plomb, par exemple, & un morceau de papier. Tant qu'il demeure rempli d'air, le plomb tombe beaucoup plus vîte que le papier,

chaque fois qu'on renverſe le tube de haut en bas ; mais ſi après l'avoir monté ſur la machine pneumatique, on l'évacue d'air, auſſi exactement qu'il eſt poſſible, & qu'on ferme le robinet pour conſerver le vuide, on n'obſervera point de différence dans la chûte de ces corps, ſi, après avoir détaché le tube de la platine, on répète l'expérience. D'où je conclus que la réſiſtance du milieu étant ſupprimée, ces deux corps, malgré la différence de leur poids, ont la même activité, la même force pour ſe précipiter. Ils ſont donc également ſoumis à l'action de la peſanteur, & c'eſt à une cauſe, qui lui eſt tout à fait étrangère, qu'il faut rapporter ces différences que nous obſervons

habituellement dans la chûte des corps qui diffèrent en maſſe.

On déſireroit ſans doute pouvoir ſe rendre raiſon de la diverſité de ces phénomènes, expliquer d'une manière ſatisfaiſante comment les effets de la peſanteur ſur les corps ſont ſi différens dans le vuide & en plein air. J'en ai donné une explication très-facile à ſaiſir dans le premier volume de mes Elémens, & je la répéterai volontiers ici.

J'ai ſuppoſé que les maſſes du plomb & du papier étoient dans le rapport de 12 à 1, c'eſt-à-dire, que le plomb peſoit douze fois plus que le papier & d'après cette ſuppoſition, voici de quelle manière j'ai raiſonné; j'ai dit : « chaque

» degré de maſſe eſt animé d'un
» degré de peſanteur qui le pouſſe
» vers le centre de notre globe.
» Le plomb eſt donc maîtriſé par
» douze degrés de peſanteur, & le
» papier par un ſeul : or, malgré
» cette différence, ils ne doivent
» point ſe mouvoir plus vîte l'un
» que l'autre dans le vuide; puiſque
» douze degrés de peſanteur, em-
» ployés à faire mouvoir douze
» degrés de maſſe, ne peuvent
» produire plus d'effet qu'un ſeul
» degré de peſanteur employé à
» mouvoir un ſeul degré de maſſe,
» ils doivent donc ſe mouvoir avec
» la même vîteſſe dans le tube
» vuide d'air ; mais pourquoi le
même effet n'a-t-il pas lieu, lorſque

» ce tube eſt rempli d'air? en voici la
» raiſon.

» Suppoſons qu'en parcourant la
» longueur du tube, l'air oppoſe à
» ces deux corps une réſiſtance qui
» conſomme un demi-degré de
» peſanteur; le papier qui n'a qu'un
» ſeul degré de peſanteur, perdra
» la moitié de ſa force, tandis que
» le plomb, qui eſt animé de douze
» degrés, ou de vingt-quatre demi-
» degrés de peſanteur, ne perdra
» qu'un vingt-quatrième de la ſienne:
» il ſera donc vingt-quatre fois moins
» retardé dans ſa chûte, & conſé-
» quemment il tombera plus vîte
» que le papier. »

Concluons donc qu'abſtraction faite
des obſtacles qui s'oppoſent à ce

que l'action de la pesanteur obtienne a totalité de l'effet qu'elle doit produire sur le corps qu'elle maîtrise, ils sont tous également poussés par cette force, vers le centre de la terre.

Nous observerons néanmoins, que bien qu'elle agisse de la même manière sur tous les corps, l'intensité de son action n'est point la même dans tous les climats de la terre. Elie est plus foible vers l'équateur que dans toute autre latitude. C'est une vérité de fait bien importante en méchanique, & universellement reconnue de tous les physiciens. Elle est établie sur une multitude d'observations faites avec toute l'exactitude imaginable; mais nous ne nous per-

mettrons pas de les rapporter ici ; ce détail de pure curioſité nous entraîneroit trop loin.

Nous obſerverons encore que la peſanteur eſt une force conſtante, une force qui agit uniformément, & de la même manière, dans tous les inſtans conſécutifs pendant leſquels les corps ſont ſoumis à ſon action. Je ne puis mieux la comparer qu'à une preſſion uniforme & continue qui ſe feroit ſentir à ces corps, & d'après cette idée, qu'on ne peut me conteſter, j'explique facilement les effets qu'elle produit ſur eux.

Je dis donc qu'un corps qui ſe meut pendant pluſieurs inſtans, en vertu de la peſanteur, ſe meut à chaque inſtant abſtraction faite du premier, & en vertu

de l'impreſſion qu'il en reçoit pendant cet inſtant, & en vertu de celles qu'il en a reçues dans les inſtans précédens. Il ſe meut donc en vertu de deux forces; l'une qu'il acquiert à chaque inſtant & que j'appelle *accélératrice*; l'autre qu'il a déjà acquiſe dans les inſtans précédens, & que je nomme *uniforme*. Or ces deux forces réunies en lui, doivent accélérer ſon mouvement, & de manière à lui faire parcourir des eſpaces quicroiſſent entre eux, comme la ſuite directe des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, 9, &c.; c'eſt-à-dire, qu'ayant parcouru un eſpace donné dans le premier inſtant, il doit en parcourir un trois fois plus grand, dans le ſecond inſtant ſemblable au premier,

un cinq fois plus grand pendant la durée du troisième inſtant, & ainſi de ſuite.

Il eſt en effet démontré qu'une force qui s'acquiert progreſſivement, comme la peſanteur, ne produit, tandis qu'elle s'acquiert, que la moitié de l'effet qu'elle produiroit, ſi elle étoit entièrement acquiſe. De là je conclus que le degré de peſanteur qu'un corps acquiert pendant la durée du premier inſtant, ne lui fait parcourir que la moitié de l'eſpace qu'il parcourroit ſi ce degré de peſanteur étoit entièrement acquis au commencement de cet inſtant. Je demande ſeulement qu'on me paſſe la vérité de cette propoſition comme évidemment démontrée, &

généralement reçue en physique.

Cela posé, le corps arrive au commencement du second instant, avec un degré de pesanteur entièrement acquis, ou un degré de cette force que j'appelle *uniforme*. Or ce degré de pesanteur persévérant à le faire mouvoir, pendant ce second instant, il lui fera parcourir un espace double de celui qu'il a parcouru pendant le premier instant, & comme pendant la durée du second il acquiert un nouveau degré de pesanteur, de cette force que je nomme *accélératrice*, & que ce degré est semblable à celui qu'il a acquis pendant le premier instant, celui-ci lui fera parcourir un espace semblable à celui qu'il a parcouru pendant le premier instant

La totalité de l'eſpace qu'il parcourra dans le ſecond inſtant, en vertu de ces deux forces, l'une uniforme, l'autre accélératrice, ſera donc triple de celui qu'il aura parcouru pendant le premier inſtant & à la fin du ſecond, il ſera muni de deux degrés de peſanteur entièrement acquis, ou de deux degrés de force uniforme, en vertu deſquels il continuera à ſe mouvoir pendant le troiſième inſtant. Or chacun de ces deux degrés lui fera parcourir un eſpace double de l'eſpace parcouru dans le premier inſtant, & conſéquemment un eſpace quadruple du premier eſpace; & le degré de force accélératrice qu'il acquerra encore pendant ce troiſième inſtant, lui en fera parcourir un tout-à-fait

femblable à celui du premier inftant : il parcourra donc, pendant ce troifième inftant, un efpace comme cinq & ainfi de fuite.

D'où il fuit 1°. que les efpaces parcourus à la fin de chaque inftant, font comme le quarré des temps employés à les parcourir. Laiffons de côté le premier inftant, qui s'exprime par 1, & dont les quarrés, ainfi que l'efpace parcouru pendant cet inftant, s'exprimant également par 1, ne rendroient point la démonftration affez fenfible, & confidérons qu'à la fin du fecond inftant, qui s'exprime par 2, le corps aura parcouru un efpace comme 4; favoir, un efpace comme 1, pendant le premier inftant, & un efpace comme 3,

pendant le ſecond; or 4 eſt le quarré de 2, ou le produit de 2 multiplié par 2.

Pareillement, à la fin du troiſième inſtant, qui s'exprime par 3, l'eſpace parcouru eſt comme 9; ſavoir 1 dans le premier, 3 dans le ſecond, & 5 dans le troiſième inſtant; leſquels pris enſemble égalent 9; or 9 eſt le quarré de 3, c'eſt-à-dire le produit de 3 multiplié par 3. En continuant ce calcul, on trouvera le même réſultat pour tous les inſtans conſécutifs. Donc les eſpaces parcourus, à la fin de chaque inſtant, ſont comme les quarrés des temps employés à les parcourir.

2°. Que ſi on connoît l'eſpace qu'un corps parcourt dans le premier inſ-

tant, il ſera facile de connoître celui qu'il parcourra pendant pluſieurs inſtans donnés. Il ſuffira, pour cela, de faire une proportion, ou une règle de trois, dont voici l'expoſé en faveur de ceux qui ſont au fait de ces ſortes de calcul.

Le quarré du premier inſtant eſt au quarré des inſtans ſuppoſés, comme l'eſpace parcouru dans le premier inſtant, eſt à l'eſpace qu'on veut connoître. Quant à l'eſpace que parcourt un mobile, pendant le premier inſtant de ſa chûte, en ſuppoſant qu'il tombe librement & en vertu de la peſanteur, il eſt démontré, par les expériences de *Huyghens*, que cet eſpace eſt de 15 pieds dans le climat

de Paris, pendant la première seconde de sa chûte.

On s'est donné beaucoup de peine à chercher la cause de la pesanteur & jamais problême aussi facile à résoudre n'a donné naissance à un aussi grand nombre de solutions plus absurdes les unes que les autres. Je n'en rapporterai qu'une & elle confirmera ce que j'ai déjà observé précédemment : que la manie de vouloir tout expliquer fait dire bien des absurdités.

On a donc imaginé que la terre étoit une espèce d'aimant, duquel s'élançoit une quantité prodigieuse d'émanations crochues, faites en forme d'hameçons; que ces émanations, revenant vers elle, lui amenoient

dans leur retour les corps qu'elles hapoient.

Soupçonneroit-on le savant *Gassendi*, l'un des plus célèbres Physiciens du dernier siècle, d'être l'auteur d'une pareille opinion ? C'est cependant la sienne, & encore n'est-elle pas la plus absurde de celles que je pourrois citer. En voici une autre plus sensée, plus méchanique & plus digne de l'attention du Physicien, en ce qu'elle est appuyée sur un fait certain, mais dont l'application n'est rien moins qu'exacte en cette occasion ; c'est l'opinion d'un grand homme, c'est celle de *Descartes*.

Il est de fait, & l'expérience prouve incontestablement, que si plusieurs corps de densités différentes sont ren-

fermés dans un eſpace d'où ils ne puiſſent s'échapper, & qu'on vienne à leur imprimer un mouvement circulaire, ou ſelon tout autre courbe quelconque, il eſt de fait, dis-je, que tous acquerront différens degrés de force centrifuge, force qui tendra à les éloigner du centre de leur rotation, (ce qu'on remarque généralement dans tous les corps qui ſe meuvent autour d'un centre, comme nous le prouverons dans le Chapitre ſuivant.) Or, à raiſon de cette diverſité dans la force centrifuge de ces corps, ceux qui en auront davantage précipiteront les autres vers le centre commun de leur rotation, ou l'excès de force centrifuge des uns occa-

ſionnera la force centripète des autres.

Tel eſt, en peu de mots, le principe certain dont *Deſcartes* abuſe pour expliquer le phénomène de la chûte des corps vers le centre de la terre.

Il prétend que tous les corps ſublunaires, plongés comme ils le ſont dans le tourbillon de ce globe, ou dans l'athmoſphère de la terre, & participans tous au mouvement de ce tourbillon autour de ſon centre, ſont maîtriſés par ſon excès de force centrifuge, & pouſſés vers ce centre. Dans le fait, on ne peut diſconvenir, vu la diſtance énorme à laquelle elle s'étend au-delà de la ſurface de la terre

que son athmosphère ne soit entraînée autour de son centre avec une vîtesse incomparablement plus grande que celle qui anime les corps sublunaires plongés dans cette athmosphère, & conséquemment que la force centrifuge de celle-ci ne soit de beaucoup plus grande que celle de chacun de ces corps. Mais est-ce une raison d'en conclure que cet excès de force centrifuge doive porter ces corps directement au centre de la terre ?

Descartes l'imaginoit, & il étoit si favorablement prévenu en faveur de cette opinion, que pour la confirmer, il indiqua lui-même, mais sans la consulter, l'expérience qui devoit en démontrer la fausseté.

Remplissez d'eau, nous dit-il, un

globe creux de criſtal, & introduiſez-y des corps plus légers que l'eau; placez ce globe entre les deux poupées d'un tour: tant qu'il ne demeurera en repos, ces corps étrangers ſe tiendront, à raiſon de leur légéreté reſpective, dans l'un des ſegmens ſupérieurs du globe, dans celui qui correſpondra à ſon équateur. Faites alors mouvoir ce globe circulairement ſur ſon axe; les corps qui ſurnageoient acquerront, ainſi que l'eau, une force centrifuge; mais celle-ci, comme plus denſe, en acquerra une plus grande, & en vertu de cet excès de force centrifuge, elle précipitera ces corps & les raſſemblera au centre de la maſſe aqueuſe.

Si le ſuccès de cette expérience étoit tel, l'opinion de *Deſcartes* au-

roit un caractère de vérité qui pourroit en imposer ; mais qu'arrive-t-il en cette occasion ? le voici : au lieu de se précipiter au centre du globe, on voit ces corps maîtrisés par l'excès de la force centrifuge de l'eau, se porter dans toute la longueur de l'axe du globe.

Il n'étoit point nécessaire de se mettre l'esprit à la torture pour expliquer un phénomène qui n'est que l'effet d'une loi générale de la nature, d'une loi constante à laquelle tous les corps sont soumis, dans quelques circonstances qu'ils se trouvent, & dans quelque degré d'éloignement qu'ils soient les uns des autres. Cette loi se nomme l'*attraction*, & nous allons la faire con-

noître dans l'Appendice que nous ajoutons à ce Chapitre.

APPENDICE.

De l'Attraction.

Une observation constante nous apprend que certains corps s'approchent comme d'eux-mêmes les uns des autres & se réunissent au point de contact, de facon qu'ils ne forment plus qu'un seul corps. C'est ainsi, par exemple, que deux gouttes d'eau, d'huile, de mercure, &c. mises à côté & très-près l'une de l'autre, se déforment, s'alongent, deviennent ovales, de rondes qu'elles étoient, se touchent enfin, s'unissent, se confondent, & ne forment plus

qu'une ſeule goutte, ſans qu'on puiſſe attribuer cet effet à la preſſion d'un fluide extérieur, qui loin de les réunir s'oppoſeroit à leur réunion.

Ce que nous obſervons ſi ſenſiblement entre toute eſpèce de fluides homogènes, mis dans la circonſtance que nous venons d'indiquer, s'obſerve encore, mais d'une autre manière, entre toute eſpèce de corps, & toujours ſans que cet effet puiſſe être rapporté à l'impulſion ou à la preſſion d'un fluide environnant.

Les corps les plus éloignés les uns des autres, en ſuppoſant cependant que leurs maſſes ſoient conſidérables, nous montrent auſſi manifeſtement le même phénomène; on voit qu'ils ont

une tendance réciproque à s'approcher & à s'unir ; on voit qu'ils agiſſent plus ou moins ſenſiblement les uns ſur les autres ; qu'ils s'approcheroient & ſe réuniroient enfin, ſi la force qui les anime n'étoit balancée par une autre qui s'y oppoſe. Or, cette force, qui tend à rapprocher toutes les parties de l'univers matériel pour n'en former qu'une ſeule & unique maſſe, eſt ce qu'on appelle l'*attraction*. Qu'eſt-ce donc que l'*attraction* ?

En Phyſique comme en Morale, c'eſt le ſecret de la Nature, & ce ſecret eſt impénétrable. J'en appelle au témoignage de ceux qui ont éprouvé les effets de la dernière. Qu'ils l'inſcrivent en faux, s'ils le

peuvent, contre le Quatrain que voici :

Il eſt des nœuds ſecrets, il eſt des ſympathies
Dont, par le doux rapport, les ames aſſorties
S'attachent l'une à l'autre & ſe laiſſent piquer
Par ce *je ne ſais quoi* qu'on ne peut expliquer.

Voilà bien l'attraction morale, la phyſique eſt encore plus difficile à comprendre ; car on ignore ſi cette force qui ſe décèle dans tous les corps, réſide en eux comme une qualité qui leur ſoit inhérente, ou ſi elle dépend de quelque puiſſance méchanique extérieure. Ce que nous ſavons, & ce dont nous ne pouvons douter, parce que l'expérience & l'obſervation nous le confirment journellement, c'eſt que tous les corps lui ſont ſubordonnés ; que toutes les par-

ties de la matière s'attirent mutuellement, qu'elles suivent toutes une loi constante dans leurs attractions, & c'est à la seule connoissance de cette loi que nous devons borner toutes les questions que nous pourrions faire au sujet de l'attraction.

Les corps sont-ils à une très-grande distance les uns des autres, leurs forces attractives, que nous appelons *attractions à grandes distances, sont en raison directe de leurs masses, & en raison inverse, ou réciproque du quarré de leurs distances*, je veux dire, que ces forces croissent dans la même proportion que les masses, & qu'elles décroissent comme le quarré des distances augmente. De là, deux masses

restant les mêmes, & leur force attractive étant déterminée pour une distance donnée, cette force sera quatre fois plus petite, si leur distance devient double de ce qu'elle étoit. Or, 4 est le quarré de 2, ou le produit de 2 multiplié par 2.

Une multitude d'observations astronomiques confirment & attestent la certitude de cette loi, relativement à tous les corps qui s'attirent à de grandes distances, & tout persuadé que je suis qu'elle n'est pas différente par rapport à ceux qui agissent & s'attirent à de très-petites distances, je ne disconviendrai point que ces sortes d'attractions, qu'on appelle *attractions à petites distances*, paroissent suivre une autre loi.

Dans ces circonſtances, en effet, & ſur-tout au point de contact, il paroît, & pluſieurs ſavans Phyſiciens ſoutiennent que les forces attractives ſuivent une proportion plus grande que celle de la raiſon inverſe du quarré des diſtances; mais quelle proportion ſuivent-elles alors? C'eſt ſur quoi perſonne n'eſt d'accord.

Ce ſchiſme, cette diverſité d'opinions à cet égard, ſuffiroit ſeule pour prouver que c'eſt à tort qu'on voudroit admettre deux loix différentes d'attraction, pour les grandes & pour les petites diſtances; mais on ſentira mieux la fauſſeté de cette prétention, ſi on conſidère qu'il y a tant de cauſes que nous connoiſſons, tant d'autres que nous igno-

rons, qui se réunissent & concourent à augmenter les effets de l'attraction dans les petites distances, bien que la loi de la nature soit la même dans les deux circonstances, que nous ne devons point être étonnés de voir ces effets se montrer avec plus d'intensité dans les petites que dans les grandes distances ; c'est ce que je crois avoir suffisamment prouvé dans le premier volume de mes *Elémens*. Je répéterois volontiers ce que j'ai dit à ce sujet, si cette digression n'étoit pas plutôt du ressort des Mathématiques que de la Physique.

Je me bornerai donc à donner ici quelques preuves manifestes de ces sortes d'attractions & à prouver en-

ſuite que la chûte des corps ſublunaires, vers le centre de la terre, n'eſt qu'un effet de cette loi générale de la nature.

Et d'abord, ſi à l'aide d'une eſpèce de chalumeau, dont la boule ſera remplie d'une liqueur quelconque, ſuppoſons d'eau, je laiſſe tomber quelques gouttes de ce liquide ſur des plans de différentes denſités, ces gouttes arrondies dans leur contour, au lieu d'être parfaitement ſphériques, comme elles devroient l'être, ſeront plus ou moins aplaties, ſuivant que le plan ſur lequel elles repoſeront ſera plus ou moins denſe. Elles ſeront preſque ſphériques ſur une feuille d'arbre, moins ſur un morceau de papier huilé, bien moins encore ſur

un plan de marbre, ou de métal. Or ces phénomènes que tout le monde est à portée d'observer, & qui ne peuvent s'expliquer par l'action d'un fluide qui presseroit extérieurement ces gouttes de liqueur, prouvent, on ne peut mieux, qu'elles sont maîtrisées par la force attractive du plan, & que cette force est d'autant plus considérable que ce plan est plus dense, ou qu'il a plus de masse.

Une autre preuve, également manifeste de l'attraction entre les corps qui se touchent, c'est celle que nous offrent deux plans de marbre, de glace ou de métal bien dressés, & exactement appliqués l'un sur l'autre. Ils adhèrent entre eux avec des forces

bien ſupérieures à celles de la preſſion du fluide qui s'appuie extérieurement ſur leurs ſurfaces, & qui cependant contribue en partie à leur union, & la force avec laquelle cet effet ſubſiſte dans le vuide, répond à toutes les difficultés qu'on pourroit faire en faveur de l'impulſion ou de la preſſion d'un fluide extérieur & ambiant. Comment d'ailleurs, cette preſſion pourroit-elle parvenir à unir avec une force de 80 livres des lames de verres, dont les ſurfaces n'auroient qu'une ligne d'étendue, comme le docteur *Deſaguiliers* l'a éprouvé, & l'atteſte ?

Un troiſième phénomène qui confirme encore la même choſe, c'eſt celui qu'on obſerve dans le mélange

de certains liquides qui ſe pénètrent mutuellement & dont les parties s'attirent au point de former une maſſe ſolide.

Prenez, par exemple, deux gros d'huile de tartre & autant d'huile de chaux; ce ſont deux liqueurs très-coulantes; mêlez-les enſemble dans une ſoucoupe, agitez le mélange avec le doigt, ou tout autre corps équivalent; bientôt la liquidité diſparoîtra, & vos deux liquides ſe convertiront en une maſſe aſſez ſolide que vous pourrez taſſer comme une boule de neige.

Si je ne craignois de devenir prolixe, je pourrois ajouter à ces preuves de l'attraction à de petites diſtances,

d'autres preuves qui ne feroient pas moins concluantes ; mais comme suffisantes, je m'en tiens à celles-ci, & je reviens à la question précédente, à prouver que les corps sublunaires abandonnés à eux-mêmes, à différentes hauteurs au dessus de la surface de la terre, ne tombent vers son centre, qu'en vertu de l'attraction que le globe terrestre exercé sur eux, & cette preuve, je la tire de la manière selon laquelle ils s'approchent de ce centre. Ils s'en approchent, en effet, conformément à la loi générale de l'attraction à grandes distances, c'est-à-dire en raison inverse du quarré de leurs distances à ce centre. Mais comment démontrer la vérité de ce fait, vu les

petites

petites diſtances auxquelles nous pouvons porter les corps au-delà de la ſurface de la terre? par une obſervation qui vient on ne peut mieux à notre ſecours & qui ne laiſſe aucun doute à cet égard.

La lune, ce ſatellite qui appartient à la terre, autour de laquelle elle fait ſes révolutions, en eſt éloignée, dans ſa moyenne diſtance, de ſoixante demi-diamètres terreſtres, & conſéquemment ſoixante fois davantage que les corps qui tombent vers ſa ſurface, car on peut regarder comme zéro les hauteurs auxquelles on peut les porter au deſſus de cette ſurface, quand on les compare à la longueur d'un des rayons de la terre. Or, tous les aſtronomes ont obſervé, en calcu-

lant les rapports de vîtesses selon lesquelles la lune & les corps sublunaires s'approchent dans un temps donné du centre de notre globe, que la lune s'en approche trois mille six cents fois moins qu'eux, dans le même temps, & comme trois mille six cents sont exactement le quarré de soixante, ou le produit de soixante multiplié par soixante, j'en conclus que dans son mouvement qui l'approche du centre de la terre, mouvement qui ne peut être attribué qu'à l'attraction du globe terrestre, la lune suit exactement la loi générale des attractions à grandes distances.

Jugeant donc du mouvement des corps sublunaires par celui de la lune,

je conclus encore que ceux-ci ſuivent la même loi, en s'approchant du centre de la terre, & que l'attraction du globe terreſtre eſt la véritable cauſe de leur peſanteur, de leur tendance, ou de leur chûte vers le centre de ce globe. Je paſſe maintenant à la conſidération de la force centrifuge.



CHAPITRE CINQUIEME.

De la force Centrifuge.

Cette force eſt diamétralement oppoſée à celle dont nous avons parlé dans le Chapitre précédent, dans lequel nous avons démontré les effets de la force centripète, qui tend à ramener tous les corps au centre de leur rotation, tandis que la force centrifuge tend à les éloigner de ce centre. Bien qu'oppoſées entre elles, ces deux forces réunies ſubſiſtent en même temps, ſe contrebalancent mutuellement dans les planètes & entretiennent l'harmonie du ſyſtème planétaire. Si l'une, en effet, deve-

nant supérieure à l'autre, conservoit sur elle cette supériorité, c'en seroit bientôt fait de l'univers. Supposons que ce fût la force centripète : dans cette supposition, les planètes s'approcheroient de plus en du centre du soleil, & dans peu, elles se confondroient avec lui. Si c'étoit la force centrifuge, elles s'éloigneroient de ce centre, & bientôt elles seroient emportées au-delà des limites que l'auteur de la Nature a posé à leurs orbites elliptiques.

Quand on considère donc cette constance avec laquelle elles sont retenues, depuis le moment de la création, dans les courbes qu'elles décrivent si régulièrement, & que cette harmonie ne dépend que de

deux forces qui se contrarient continuellement, qui pourroit s'empêcher de s'écrier avec le Prophête Roi : *Les cieux publient la gloire de leur Auteur, & le firmament annonce les ouvrages de ses mains.*

Ce n'est point à nous, c'est à l'Astronome de développer les combinaisons de ces deux forces opposées, de nous parler des variations qu'elles éprouvent & de nous montrer de quelle manière les planètes sont retenues dans les orbes elliptiques qu'elles décrivent autour du soleil, le centre commun de leurs révolutions périodiques ; mais il appartient au Physicien de constater l'existence de ces deux forces dans la Nature & d'indiquer leurs loix géné-

rales. Nous nous ſommes déjà acquittés de ce miniſtère à l'égard de la force centripète, nous allons remplir la même tâche par rapport à la force centrifuge.

Et d'abord, nous prouverons que cette force exiſte dans tout corps mu circulairement, & comme on peut très-bien conclure du mouvement circulaire à celui qui s'exécute dans toute autre eſpèce de courbe, nous en concluerons que cette même force exiſte également dans tout corps qui décrit une courbe quelconque.

Pour conſtater l'exiſtence de la force centrifuge dans le cercle, il ſuffit de ſe former une idée juſte du mouvement circulaire. Qu'eſt-ce donc que cette eſpèce de mouvement? C'eſt,

disent tous les Physiciens, un mouvement en ligne droite continuellement interrompu dans tous ses points. La preuve en est évidente.

Le cercle, en effet, est de l'aveu de tous les Mathématiciens un polygone infinitaire, ou une figure d'un nombre infini de côtés, infiniment petits & tous inclinés les uns aux autres. Cela posé, si nous considérons ce qui arrive à un corps qui parcourt le contour d'un polygone quelconque, ou d'une figure composée de plusieurs côtés, nous comprendrons la vérité de la proposition que nous venons d'énoncer.

Or, il est démontré qu'un corps qui se meut autour d'un polygone, change autant de fois moins une de

direction, qu'il y a de côtés dans ce polygone. Prenons-en pour exemple, l'une des pages de ce livre, qui représente un polygone de quatre côtés. Supposons donc qu'un corps placé en haut & à la gauche de cette page, soit déterminé à se mouvoir selon la longueur du petit côté qui lui répond & qui représente la largeur de la page, il parcourra ce côté; mais arrivé à son extrémité, je demande ce que deviendra ce mobile, si rien ne s'oppose à la direction primitive de son mouvement? Il n'y a point de doute qu'il continuera à se mouvoir selon le prolongement du même côté & que de lui-même il ne se déterminera pas à changer de direc-

tion, à ſe mouvoir, par exemple, de haut en bas, ſelon la hauteur de la même page.

Il faut donc, pour qu'il ſuive cette nouvelle route, qu'il ſe trouve, à l'angle où concourent & ſe réuniſſent les deux côtés de la page, une puiſſance qui change ſa première direction, le fléchiſſe & le détermine à ſe mouvoir ſelon la hauteur de cette page.

Suppoſons-la cette puiſſance, & voyons ce que deviendra le mobile dès qu'il ſera arrivé à l'extrémité inférieure, ou au bas de la page : toujours conſtant à obéir à la dernière impulſion qu'il a reçue, il continuera à ſuivre la même ligne, ſi rien ne s'oppoſe à cet effet. Il faut donc encore ici

une nouvelle puiſſance qui l'empêche d'aller plus loin, ſelon la même direction & qui l'oblige à ſe détourner, à ſe mouvoir ſelon la largeur du petit côté inférieur de la page.

Je dirai la même choſe, lorſqu'il ſera arrivé à l'extrémité de ce côté, s'il faut le faire remonter ſelon la hauteur du feuillet & le ramener au point d'où il eſt parti. Il eſt donc évident que, pour parcourir les quatre côtés de cette page, il changera trois fois ou quatre fois moins une de direction. Il ne peut donc ſe mouvoir & parcourir le contour d'un polygone quelconque, qu'il ne change autant de fois moins une de direction, qu'il y aura de côtés dans ce polygone.

Appliquons cette démonſtration à la circonférence d'un cercle qui eſt, comme nous l'avons dit précédemment, un polygone infinitaire, ou d'un nombre infini de côtés infiniment petits, c'eſt-à-dire de points tous inclinés les uns aux autres, & nous en concluerons qu'un corps qui ſe meut & qui parcourt la circonférence d'un cercle, change de direction à chacun des points de cette circonférence & que le mouvement circulaire eſt un mouvement en ligne droite continuellement interrompue.

Or, en interrompant ainſi un mouvement commencé en ligne droite, on change bien la direction du mobile, mais on ne lui enlève point ſa tendance à ſe mouvoir ſelon chaque

ligne droite commencée, & c'eſt cette tendance que j'appelle force centrifuge, & pourquoi ? Parce qu'en quelque point de la circonférence du cercle que vînt à ceſſer la cauſe qui fléchit continuellement ſon mouvement & le retient dans cette circonférence, le mobile, obéiſſant à cette tendance, s'échapperoit & s'éloigneroit du centre de ſa rotation par la dernière ligne droite commencée, & cette ligne feroit une tangente à l'extrémité du rayon, ou au point de la circonférence du cercle dont ce mobile s'éloigneroit. D'où je conclus qu'un corps qui ſe meut circulairement, eſt continuellement animé d'une force centrifuge, ou qui tend à l'éloigner du centre de ſa révolution, force qu'on remarque égale-

ment dans tous les corps qui parcourent une courbe quelconque.

C'eſt en vertu de cette force qu'un verre rempli d'eau peut être mu circulairement autour d'une fronde, ſans que l'eau s'en échappe & ſe précipite, lors même que l'ouverture du verre ſe trouve renverſée de haut en bas en paſſant au zénith & au deſſus de la tête de celui qui le fait mouvoir; parce que la force centrifuge que cette eau acquiert dans ſa rotation, la pouſſe & la retient vers le fond du verre, où ſe trouve la circonférence du cercle qu'elle décrit avec une force ſupérieure à celle de la peſanteur qui tend à la faire tomber.

On conçoit, ſans qu'il ſoit néceſſaire de le dire, que le verre dont

on ſe ſert dans cette expérience, doit être ſuſpendu par ſon bord au cordon qui le fait tourner, afin que ſon fond ſoit dans la circonférence du cercle qu'on lui fait décrire.

Si l'on répète l'expérience dont nous avons parlé dans l'Article précédent, l'expérience imaginée par *Deſcartes*, pour expliquer la cauſe de la chûte des corps, on pourra s'en ſervir pour prouver la force centrifuge qu'acquiert, par ſa rotation, un corps qui ſe meut circulairement. Mais au lieu de renfermer dans le globe un corps plus léger que l'eau, il faut y introduire un corps ſpécifiquement plus peſant, ſans cependant que ſon excès de peſanteur ſpécifique le mette dans le cas de caſſer le globe contre les parois du-

quel il se portera pendant sa rotation.

Je choisis pour cela un morceau de cire d'Espagne, que je triture & que je réduis en poussière dans un mortier. Je mets cette poudre dans le globe déjà plein d'eau : spécifiquement plus pesante, elle tombe au fond du globe ; mais dès le moment que je le fais tourner sur son axe, elle acquiert une force centrifuge, qui la porte vers les parois de ce globe & elle y forme une zone circulaire qui répond à son équateur.

Je pourrois rapporter ici plusieurs autres expériences qui prouveroient la même vérité, si je ne la croyois suffisamment établie; mais je passe à une autre considération importante à

cet égard; Je considère les élémens de la force centrifuge, qui contribuent à augmenter cette force dans les corps, & je remarque que son intensité dépend de leurs masses, & de la vîtesse avec laquelle ils se meuvent, soit dans le cercle, soit dans toute autre courbe quelconque.

Et d'abord je dis qu'elle dépend de leurs masses, parce que chacune de leurs parties étant animée de la même force, il est constant que plus les corps auront de masses ou de parties & plus cette force sera considérable; puisque la force d'un corps en mouvement est égale à la somme des forces partielles, ou distribuées entre chacune de ses parties.

On démontre cette vérité en Physique à l'aide d'une machine fort ingénieuse, connue sous le nom de *machine de forces centrales*, & dont nous avons donné la description dans notre Ouvrage intitulé : *Description & usage d'un Cabinet de Physique*; mais pour satisfaire la curiosité de nos lecteurs, qui voudroient se procurer le plaisir de répéter ces sortes d'expériences à moins de frais, voici l'idée d'une machine du même genre, beaucoup plus simple & qui répondra également à leurs vues.

Soient montées dans un même châssis qui s'assujettira horizontalement sur une table, une roue de 12 à 15 pouces de diamètre, & une poulie de trois pouces ou environ de

diamètre; que l'axe de cette poulie menée par la corde de la roue, excède le deſſus du châſſis, & ſoit taraudé de quelque pas de vis, pour qu'on puiſſe monter deſſus le milieu d'une planchette de 15 à 18 pouces de longueur, aux extrémités de laquelle s'élèvera de part & d'autre & à angle droit un morceau de bois de 3 pouces de hauteur.

Ceux-ci ſerviront de ſupport à un fil de métal qui les traverſera & y ſera fixé, après qu'on aura enfilé ſur ce fil deux billes d'ivoire de maſſes différentes; ſuppoſons l'une une fois plus peſante que l'autre.

Cela poſé, la planchette étant établie ſur la poulie, elle ſera entraînée par la révolution de cette

poulie, ainsi que les deux billes d'ivoire dont nous venons de parler.

S'agit-il de prouver que, toutes choses égales d'ailleurs, la force centrifuge d'un corps qui se meut circulairement, croît comme sa masse, ou plutôt, que toutes choses égales d'ailleurs, la force centrifuge de deux corps qui circulent, est plus considérable dans celui qui a plus de masse, car on ne peut espérer un résultat plus précis de la machine que nous venons de décrire : voici de quelle manière il faut procéder.

Liez ensemble les deux billes d'ivoire avec un fil qui les traversera, & dont vous nouerez les deux bouts de façon qu'elles puissent s'écarter de

quelques pouces l'une de l'autre. Amenez-les chacune à la même diſtance du centre commun de leur rotation, qui eſt le centre de la poulie; ſuppoſons qu'elles en ſoient à un pouce de diſtance de part & d'autre.

Dans cette ſuppoſition, les deux billes auront la même vîteſſe circulaire, au moment où l'on fera tourner la machine; puiſqu'étant également éloignées du centre du mouvement, elles décriront des cercles gaux dans le même temps, & chacune acquerra, par ſa révolution, une force centrifuge qui tendra à l'éloigner du centre de ſa rotation, en gliſſant ſur le fil de métal qui la porte, le ſeul côté par lequel elle

puiſſe s'écarter de ce centre. Si elles étoient libres, on les verroit l'une & l'autre ſe porter en arrière, & frapper plus ou moins fortement les extrémités oppoſées, ou les morceaux de bois qui s'élèvent aux deux bouts de la planchette.

Mais comme elles ſont attachées & qu'elles ne peuvent s'échapper qu'enſemble, la plus groſſe des deux billes ſurmontera l'effort de la petite, qui ſe fait en ſens contraire du ſien, & l'entraînant de ſon côté, elles iront l'une & l'autre heurter le morceau de bois qui répond à la groſſe; preuve inconteſtable, qu'avec la même vîteſſe que la petite, elle acquiert, à raiſon de ſa maſſe, plus de force centrifuge, puiſqu'elle vient

à bout de ſurmonter celle de ſon antagoniſte, & de lui communiquer aſſez de force pour ſe prêter à la ſienne.

A l'aide du même appareil, on démontrera facilement que la vîteſſe contribue auſſi à augmenter la force centrifuge d'un corps qui ſe meut circulairement. Indépendamment de l'expérience, perſonne ne doute qu'un mobile qui ſe meut plus vîte, n'ait par cela ſeul plus de force; mais ſi on veut le confirmer ici par expérience, voici comme il faut procéder.

On éloignera les deux billes à des diſtances différentes du centre commun de leur révolution; la groſſe à une très-petite diſtance, ſuppoſons

un pouce, la petite à une distance beaucoup plus grande, supposons trois à quatre pouces. Les vîtesses qu'elles acquerront au premier moment de leur rotation, seront entre elles, comme leurs distances au centre de cette rotation. La petite bille acquerra donc trois à quatre fois plus de vîtesse que la grosse, parce que, dans le même temps, elle décrira un cercle trois à quatre fois plus grand. Or, à raison de cet excès de vîtesse, la force centrifuge qu'elle acquerra surpassera tellement celle de la grosse bille, qu'elle parviendra à surmonter la sienne, & qu'elle l'entraînera ensuite de son côté : l'une & l'autre iront donc frapper le morceau de bois correspondant à la petite.

Cette expérience prouve inconteſtablement que l'augmentation de vîteſſe dans un corps qui circule, produit une augmentation de force centrifuge; mais, ſelon quelle proportion cette force augmente-t-elle relativement à la vîteſſe? C'eſt ce que l'expérience ne peut indiquer. Quelque parfaite que ſoit la machine, elle n'atteindra jamais à la ſolution de ce problême. Il ne peut ſe réſoudre que par des calculs mathématiques, qui ont pour baſe des obſervations faites ſur les mouvemens des planètes, & ces calculs nous apprennent que la force centrifuge d'un corps qui ſe meut circulairement eſt comme le quarré de ſa vîteſſe, diviſé par le diamètre du cercle qu'il parcourt.

Nous n'insisterons point davantage sur une matière qui appartient particulièrement à l'Astronomie, & qui d'ailleurs suppose des connoissances tout-à-fait étrangères à notre objet.

Nous ajouterons seulement, & dans le dessein d'inspirer à nos lecteurs le désir d'en voir les expériences, parce qu'elles sont belles & intéressantes, nous ajouterons que la force centrifuge dans le cercle est le principe de quantité de machines plus ingénieuses les unes que les autres.

La première qui se présente sous ma plume, c'est la fameuse pompe de Hesse, annoncée sous le nom de *Suctor rotatilis.* Imaginez une grande boîte cylindrique remplie d'eau,

dans laquelle on fait tourner circulairement & horizontalement plusieurs tuyaux de métal, diſpoſés obliquement autour d'un axe commun, auquel ils ſont réunis vers le bas. Ces tuyaux s'élèvent au-deſſus de la boîte cylindrique, & leurs extrémités ſupérieures recourbées & rétrécies correſpondent à un réſervoir circulaire artiſtement placé au deſſus de la boîte cylindrique.

Plongés dans l'eau que celle-ci contient, ils en ſont naturellement remplis juſqu'à la même hauteur, & dès qu'on les fait mouvoir circulairement, ce mouvement ſe communique à l'eau qu'ils renferment & lui imprime une force centrifuge qui l'éloigne du centre de ſa rota-

cion, en l'élevant de plus en plus dans ces tuyaux : elle parvient donc juſqu'à leur extrémité ſupérieure & elle ſe dégorge dans le réſervoir qui l'attend.

On peut, par ce moyen, porter une maſſe d'eau conſidérable à une aſſez grande hauteur. Toute la difficulté conſiſte à imprimer aux tuyaux déférens un mouvement circulaire aſſez rapide pour que la force centrifuge puiſſe ſurmonter le poids de l'eau qui s'élève dans ces tuyaux; mais c'eſt l'affaire du méchanicien. C'eſt à lui d'imaginer ici un manége propre à cet effet.

Une autre machine, non moins ingénieuſe & plus utile encore que la précédente, c'eſt un moulin de l'invention de M. *Duhamel*, pour van-

ner & nettoyer le grain. Malgré ſon extrême ſimplicité, nous ne pourrions en donner qu'une idée très-imparfaite. Il faut en voir l'expérience pour en ſentir tout le prix.

On peut encore ranger dans cette claſſe, parmi les machines dans leſquelles la force centrifuge joue un rôle important, la corde ſans fin du ſieur *Vera*; c'eſt cette force qui fait le complément de cette machine, trop connue pour nous arrêter à la décrire. C'eſt en effet par la force centrifuge que l'eau élevée par la corde s'échappe dans la boîte ſupérieure, au moment où cette corde paſſe ſur la poulie fixe qui y eſt établie, pour ſe rendre de cette boîte dans

le réſervoir dans lequel on ſe propoſe de l'apporter.

On ne peut diſputer à cette ingénieuſe machine une très-grande ſimplicité. Si elle fut trop vantée dans ſon origine, elle ne méritoit ſurement point le diſcrédit dans lequel elle eſt tombée, & elle ne doit ce diſcrédit qu'au zèle peu éclairé de ceux qui ont voulu la faire trop valoir, en exigeant d'elle des effets au-delà de ceux qu'elle peut produire avantageuſement. C'eſt un malheur preſqu'attaché à la plûpart des belles inventions, & je ne doute point que & celle-ci ne reprenne un jour faveur, ne ſoit honorée comme elle le mérite.

Nous pourrions indiquer encore ici pluſieurs autres machines non

moins ingénieuſes que les précédentes, toutes produiſant leur effet par le moyen de la force centrifuge. Nous pourrions, par exemple, parler du fameux ventilateur du D. *Deſaguiliers*, l'une des machines capables de rendre à l'homme le ſervice le plus important, en purifiant l'air vicié qu'il eſt obligé de reſpirer à ſon préjudice, en quantité de circonſtances; mais outre que ces détails nous conduiroient trop loin, il ne ſeroit guère poſſible qu'une deſcription, quelque détaillée qu'elle fût, nous donnât une idée ſatisfaiſante de ces ſortes de machines. Il faut les voir, ou au moins en voir des modèles bien faits pour juger des avantages qu'on en peut attendre.

Nous ne nous étendrons donc point plus long-temps ſur cet objet tout important & curieux qu'il ſoit, & nous paſſerons à la conſidération d'une eſpèce particulière de mouvement qui, bien qu'elle ne puiſſe convenir généralement à tous les corps, doit néanmoins trouver place dans la Phyſique Générale, à raiſon de la multiplicité des effets qu'elle produit, & dont le Phyſicien doit preſqu'habituellement rendre raiſon. Je veux parler du mouvement réfléchi.



CHAPITRE SIXIÈME.

Du Mouvement réfléchi.

CETTE eſpèce de mouvement ne convient qu'à une eſpèce particulière de corps, à ceux qui ſont doués d'élaſticité, & qu'on appelle *corps élaſtiques* ou *à reſſort.* Qu'eſt-ce donc que l'élaſticité ou le reſſort dans un corps? C'eſt une queſtion à laquelle nous devons répondre, avant de parler des loix de la réflexion.

L'élaſticité ou le reſſort eſt une propriété qui donne au corps, qui en eſt doué, la faculté de ſe rétablir dans ſon premier état & de reprendre ſa première figure altérée

par une force étrangère. Un corps mou, ſuppoſons une boule de terre glaiſe qu'on laiſſe tomber ſur le pavé, ſe déforme, s'aplatit plus ou moins & reſte ainſi déformée ſur place. Il n'en eſt pas de même d'un corps élaſtique, tel qu'une bille d'ivoire, par exemple ; ſi elle ſe déforme également dans le choc, ſi les parties qui frappent l'obſtacle cèdent à l'impreſſion du choc, ſe reportent en arrière, en s'approchant du centre, ſi elle s'aplatit, en un mot, cet aplatiſſement n'eſt point permanent : les parties déplacées reviennent à leur place, la figure ſe rétablit, la bille ſe réfléchit, & ſi on la conſidère enſuite, on douteroit que ſa figure eût été altérée, ſi l'expérience & le rai-

ſonnement ne ſe réuniſſoient pour l'atteſter.

Je n'irai point chercher en Phyſique la machine dont on ſe ſert pour démontrer l'altération de la figure du corps à reſſort dans le choc, j'en trouve des preuves continuelles ſous mes yeux. Je m'aſſieds ſur une bergère ; le couſſin s'affaiſſe ſous le poids de mon corps, il eſt aplati ; je me lève, & je le vois s'enfler & reprendre ſa première forme.

Je preſſe avec la main un anneau fait d'une matière élaſtique & appuyé ſur une table ; il cède à la preſſion que je lui fais éprouver, il ſe déforme ; le diamètre par lequel je le preſſe, diminue de longueur ; il devient plus petit, tandis que celui qui

le coupe à angles droits devient plus grand, & que l'anneau s'alonge de ce côté : je cesse de le presser, le premier diamètre s'alonge, reprend sa première longueur, & l'anneau sa première figure.

Mais si je veux voir subsister des traces de l'altération passée dans un corps à ressort, qui a été comprimé par le choc; je prends une balle de paume; je la pose contre une muraille; elle ne la touche qu'en un très-petit nombre de points, dans une étendue très-petite, & d'autant plus petite que la balle est mieux arrondie, & la muraille plus droite, plus plane.

Cette première observation faite, je trempe cette balle dans une couleur liquide & légérement encollée

pour qu'elle s'y attache plus parfaitement, & je la lance enſuite vigoureuſement contre le mur ; elle le choque, & dans ce choc elle s'aplatit, il ſe forme ſur ſa ſurface un ſegment de ſphère plus ou moins grand, & toujours proportionné à l'intenſité du choc ; alors la balle touche le mur ſelon toute l'étendue de ce ſegment, & la preuve en ſubſiſte après le choc, dans un cercle coloré qui reſte ſur le mur & montre toute l'étendue du contact.

Que prouve en effet ce cercle coloré qu'on obſerve après le retour de la balle ? Il prouve que cette balle s'eſt aplatie contre le mur & qu'en le touchant ſelon toute l'étendue de l'aplatiſſement qui s'eſt fait, elle

a déposé ſur lui la couleur dont les parties de la ſurface aplatie étoient couvertes.

Si le reſſort de certains corps ſe met en jeu & ſe décèle par le choc, ou la compreſſion qu'on leur fait ſubir, il en eſt d'autres dans leſquels cette qualité ſe prouve par le tiraillement qu'on leur fait éprouver. C'eſt de cette manière qu'on s'aſſure de l'élaſticité d'une corde d'inſtrument; mais nous ne parlerons de ce moyen & de ſes effets que dans l'Article où nous traiterons du ſon.

Nous obſerverons ici, par rapport aux premiers dont nous venons de faire mention, qu'il s'en faut de beaucoup que cette qualité que nous obſervons en eux, ſoit parfaite comme

bien d'autres, dont il a été précédemment queſtion, elle n'eſt que relative; elle ſouffre du plus ou du moins juſque dans ceux que nous regardons communément comme très - élaſtiques.

Il y a plus : cette qualité ne conſerve pas toute ſon intenſité dans le même corps ; elle varie ſelon les différentes circonſtances dans leſquelles il ſe trouve. Il eſt de fait qu'un corps très-élaſtique de ſa nature, l'eſt beaucoup moins s'il eſt chaud que s'il eſt froid ; ce qui vient manifeſtement de ſa denſité qui diminue dans la première & augmente dans la ſeconde ſuppoſition ; car l'expérience nous apprend que l'élaſticité augmente dans un corps, à raiſon

de ſa denſité. Un morceau d'acier bien écroui, & conſéquemment plus denſe qu'avant d'avoir été écroui, eſt plus élaſtique qu'il ne l'étoit auparavant cette opération.

J'excepte l'air & tout autre fluide de même eſpèce, de la règle générale que je viens d'établir. Leur reſſort augmente au lieu de s'affoiblir par la chaleur; mais cet effet dépend de la conſtitution particulière de ces ſortes de fluides dont je parlerai dans un autre moment.

J'obſerverai encore que l'élaſticité des corps diminue à la longue, & à force d'être exercée. Un arc trop long-temps, ou trop ſouvent tendu, conſerve enfin l'inflexion, ou au moins une partie de l'inflexion qu'on

l'a forcé de prendre ; il en eſt de même de quantité d'autres corps élaſtiques. Les reſſorts d'une voiture s'altèrent avec le temps ; ils deviennent moins lians, & la voiture plus rude. Nous éprouvons la même choſe dans la plûpart des meubles que la molleſſe priſe ſi fort ; garnis de crin ou de plumes, les couſſins de nos ottomanes, de nos bergeres, &c., perdent à la longue une partie de cette propriété qui nous les rend ſi précieux dans leur nouveauté ; leur élaſticité s'affoiblit, & il faut leur donner une nouvelle façon pour les rappeler à leur premier état.

Avant de parler des effets du reſſort, relativement au principal objet de ce Chapitre, il feroit naturel d'in-

diquer la cause de cette propriété dans les corps, si tant est qu'elle dépende de quelque cause méchanique étrangère à la constitution de ces corps. Or, nous ne manquons point d'hypothèses à ce sujet ; mais nous respectons trop nos lecteurs pour leur en faire part, & mettre leur patience à une si rude épreuve. Voulant cependant qu'ils n'ignorent pas les opinions qui ont eu le plus de célébrité dans l'Ecole, nous leur parlerons des suivantes : & d'abord nous leur dirons que *Descartes* & ses sectateurs font dépendre l'élasticité des corps de la matière subtile qui les penètre & qui trouvant plus de difficultés en certaines circonstances pour les pénétrer, les force alors à manifester leur élasticité. Rendons

cette idée plus ſenſible par un exemple.

Je ſuppoſe que je veuille éprouver l'élaſticité d'un arc; pour cela je le ploie avec plus ou moins d'effort : en le pliant ainſi, je le courbe de façon qu'il prend une forme convexe d'un côté, & concave de l'autre : les parties de cet arc s'éloignent les unes des autres du côté de ſa convexité, & s'approchent au contraire du côté de ſa concavité. Leurs pores deviennent donc plus larges, plus ouverts du premier de ces deux côtés, & c'en eſt aſſez, dans l'hypothèſe de *Deſcartes*, pour mettre en jeu l'élaſticité de cet arc.

Qu'arrive-t-il en effet dans cette circonſtance? La matière ſubtile qui

afflue abondamment par les pores qui ſont plus ouverts & qui tend à traverſer l'épaiſſeur de l'arc, fait un violent effort pour ſortir du côté où ces pores ſont plus étroits. Or, l'effort qu'elle fait vers cet endroit, repouſſe de droite & de gauche les parties qui s'étoient rapprochées, & l'arc reprend ſon premier état.

Il faut croire que *Deſcartes*, ni aucuns de ſes ſectateurs n'ont point eſſayé de plier un arc fait d'une matière non élaſtique; la matière ſubtile eût joué le même rôle que dans l'hypothèſe précédente, & cependant elle n'eût point ramené cet arc à ſa première ſituation.

Le père *Mallebranche*, & pluſieurs autres célèbres Phyſiciens du dernier

ſiècle, prétendirent qu'il falloit attribuer la cauſe de l'élaſticité à de petits tourbillons de matière dont ils ſuppoſoient tous les corps remplis : aplatis par la compreſſion qu'on fait ſubir aux corps à reſſort, ces tourbillons, ſuivant eux, changent de figure ; ils deviennent ovales, de ronds qu'ils étoient, & leur force centrifuge les ramenant à leur première forme, ils rappellent la figure du corps comprimé ; mais pourquoi, pourrions nous leur demander auſſi, ces tourbillons ſe trouvant comme nichés entre les parties de tous les autres corps, ne produiſent-ils pas dans tous le même effet ?

La plûpart des plus célèbres Phyſiciens actuels font dépendre l'elaſti-

cité de l'attraction générale qui maîtrise toutes les parties de la matière. Dirons-nous de quelle manière ils la font agir ici? La vénération dont nous sommes pénétrés pour eux, nous impose silence ; & d'ailleurs, nous craindrions de décréditer l'attraction si nous en montrions une application aussi vicieuse. Quelle est donc la véritable cause de ce phénomène ? Le respect que nous devons à la vérité nous force de convenir de notre ignorance, & d'avouer que l'élasticité est un mystère que la Nature a dérobé jusqu'ici à notre connoissance. Bornons-nous donc à étudier & à développer ses effets.

Nous avons dit précédemment, & nous l'avons confirmé par des obser-

vations constantes, que les parties d'un corps élastique déplacées par l'effort d'un choc qu'on lui fait éprouver, reprennent, après le choc, leur première situation, & que le corps se restitue. Cette restitution le reporte donc en arrière, & lui imprime un mouvement contraire à celui par lequel il s'est approché de l'obstacle qu'il a choqué, & si nous supposons que ce corps soit parfaitement élastique, nous comprendrons qu'il se réfléchit avec une force égale à celle avec laquelle il a été comprimé. Supposons-la parfaite cette élasticité, & on saisira facilement la loi générale à laquelle il est soumis dans sa réflexion; la voici.

Chaque fois qu'un corps parfaite-

ment élaſtique ſe réſléchit, ſon angle de réflexion eſt égal à ſon angle d'incidence; c'eſt-à-dire qu'en ſe réfléchiſſant il forme, avec le corps dont il s'éloigne, un angle égal à celui par lequel il s'en eſt approché.

La démonſtration de cette loi ſuppoſe la connoiſſance de différentes eſpèces d'angles, & de la manière de les meſurer, connoiſſance qui appartient à la géométrie. Nous demanderons donc à ceux de nos lecteurs qui n'ont aucune teinture de cette ſcience, qu'ils veuillent bien s'en rapporter à nous ſur la qualité & la valeur des angles que nous aurons à indiquer, & ils ſuivront ſans peine la démonſtration que nous allons donner.

Cela posé, il peut ſe faire qu'un corps élaſtique choque un plan ſur lequel il tombe par une perpendiculaire, ou par une ligne oblique à ce plan. Dans le premier cas, la ligne de chute forme, avec le plan, deux angles droits, un de chaque côté; dans le ſecond cas, elle forme, avec le même plan deux angles, dont l'un eſt aigu, & l'autre obtus; & c'eſt ſelon le premier que le choc ſe fait. Reprenons.

Point de difficulté pour le premier cas. Perſonne en effet n'ignore qu'un corps élaſtique, une bille d'ivoire par exemple, qui tombe ſur un plan, par une perpendiculaire, ou en parcourant une ligne qui ne panche d'aucun côté ſur ce plan, ſe relève en

ſens contraire par la même ligne ſelon laquelle il eſt deſcendu. Il forme donc en ſe relevant, les mêmes angles qu'il a formés en deſcendant & conſéquemment deux angles droits, & dans ce cas, ſon angle de réflexion eſt égal à ſon angle d'incidence.

Si le choc ſe fait par une ligne oblique, la même vérité eſt également conſtante, mais plus difficile à ſaiſir & il faut pour la comprendre le ſecours d'une figure.

Suppoſons donc que le corps A (*fig. 2*), ſe mouvant ſelon la direction A B, vienne frapper en B le plan horizontal F *a* G *d*. Alors l'angle A B F, qui ſe meſure par l'arc A F de 45 degrés, ſera ſon angle d'incidence, ou l'angle que ſa ligne de

chûte formera avec le plan horizontal. Or, après le choc, il se réfléchira selon la ligne B E, également inclinée au même plan F a G d, & de là je conclus que son angle de réflexion F B G, qui se mesure par l'arc F G de 45 degrés, sera égal à son angle d'incidence.

Reste à démontrer maintenant qu'en tombant par la ligne A B, il ne peut se réfléchir que selon la ligne B E.

Pour le démontrer, je construis autour de la ligne de chûte A B, le rectangle A D B C, & je considère qu'en parcourant la ligne A B, le mobile suit équivalemment le même chemin qu'il feroit obligé de suivre s'il étoit poussé en même temps

par deux puiſſances, dont l'une le déterminât en D, & l'autre en C, comme nous l'avons démontré en parlant du mouvement composé. Je trouve donc dans ſon mouvement oblique A B, deux directions; l'une ſelon A D, parallèle au plan F *a* G *d*, l'autre ſelon A C, perpendiculaire au même plan.

A la place de cette dernière direction A C, qu'il me ſoit permis de ſubſtituer D B, qui lui eſt égale, & qui la repréſente parfaitement. Cela poſé, je conclus qu'en ſe portant vers le point B, ſelon l'oblique A B, & lorſqu'il eſt arrivé en B, ce corps a équivalemment parcouru l'horizontale A D, & la perpendiculaire D B.

Or, de ces deux mouvemens, le mouvement perpendiculaire D B eſt le ſeul par lequel il s'eſt approché du plan F *a* G *d*, & le ſeul par lequel il l'a frappé; puiſque le mouvement horizontal A D étant parallèle à ce plan eût conſtamment retenu le mobile dans le même degré d'éloignement.

Mais dans le choc, le corps choquant ne perd que le mouvement ſelon lequel il frappe. Le corps A, dans la ſuppoſition préſente, ne perd donc, contre l'obſtacle B, que ſon mouvement perpendiculaire D B, & conſerve tout ſon mouvement parallèle A D, avec lequel il continueroit à ſe mouvoir, après le choc, s'il étoit parfaitement dur, & tel que nous

ſuppoſons le plan F *a* G *d*. Mais le corps A étant regardé comme parfaitement élaſtique, la reſtitution de ſon reſſort lui rend, après le choc, & en ſens contraire, tout le mouvement perpendiculaire qu'il a perdu. Alors ce nouveau mouvement perpendiculaire ſe combinant avec le mouvement horizontal qu'il a conſervé, doit lui faire parcourir, en ſens contraire, une ligne auſſi inclinée que la ligne A B, ſur le plan F *a* G *d*. D'où je conclus qu'il doit ſe réfléchir ſelon la ligne B E, & faire ſon angle de réflexion égal à ſon angle d'incidence.

On démontre cette loi en Phyſique, par le moyen d'une machine que nous avons décrite dans notre *Deſcription*

& usage d'un cabinet de Physique ; mais cette machine ne satisfait que très-imparfaitement à la théorie, & cela, parce que ni le plan de marbre qui fait l'obstacle, ni la bille d'ivoire dont on se sert pour cette expérience, n'ont point les qualités qu'ils devroient avoir ; l'un n'est point parfaitement dur, & l'autre parfaitement élastique. Cette machine n'est qu'une machine de curiosité. Tout bien considéré cependant, ce défaut d'exactitude dans l'expérience tourne à l'avantage de la théorie qui seroit fausse si l'expérience réussissoit parfaitement.

La loi que nous venons d'établir est une des plus importantes à connoître en Physique. C'est sur cette

loi générale du mouvement réfléchi que sont fondés tous les phénomènes de la *Catoptrique*, ceux que les miroirs de toute espèce nous font observer par rapport aux rayons de lumière qu'ils réfléchissent, phénomènes curieux, souvent extraordinaires, & dont nous parlerons dans une autre circonstance.

Après avoir exposé les loix des différentes espèces de mouvemens auxquelles les corps sont assujettis, il est naturel de parler des obstacles qui s'opposent à la perpétuité du mouvement, & de ceux qui altèrent, qui changent la direction d'un mobile. Parlons d'abord des premiers.

❧

CHAPITRE SEPTIÈME.

Des obstacles à la perpétuité du Mouvement.

A ne considérer que cette indifférence passive pour toute modification quelconque & qui fait un des caractères, un des attributs essentiels de la matière, on aura peine à concevoir qu'un corps une fois mis en mouvement, ne persévère pas à perpétuité dans cet état, & loin d'être un problême insoluble, comme on l'a cru jusqu'à présent, on regardera le mouvement perpétuel comme l'état naturel d'un corps une fois arraché à

celui du repos dans lequel il étoit avant de se mouvoir.

Il est de toute évidence qu'un corps ne résiste pas davantage à conserver, qu'à recevoir la force qui le fait mouvoir. Il doit donc après l'avoir reçue la conserver telle qu'il l'a reçue, & conséquemment elle doit produire sur lui, dans le second instant & dans tous les instans suivans, sans qu'on puisse assigner le dernier; elle doit, dis-je, produire le même effet qu'elle a produit dans le premier instant. D'où je conclus qu'il doit se mouvoir à perpétuité, & avec sa vîtesse initiale.

Ce raisonnement seroit on ne peut plus juste dans un état de précision, & il n'y a aucun doute, qu'abstrac-

tion faite de tout obſtacle étranger, le mouvement une fois produit ne ſe conſervât à perpétuité dans un corps; mais, dans l'état préſent des choſes, le corps en mouvement rencontre des obſtacles de différentes eſpèces, qu'il ne peut éviter, & ces obſtacles lui enlevant progreſſivement une partie de la force qui l'anime, le conduiſent néceſſairement à l'état de repos dont cette force l'avoit fait ſortir.

Il s'agit donc de les connoître, ces obſtacles, & nous allons les indiquer. Le premier vient de la part du milieu dans lequel un corps ſe meut, & il eſt abſolument inévitable. Le ſecond dépend des frottemens que le mobile éprouve lorſqu'il ſe meut

fur d'autres corps. Celui - ci peut fe modérer ; mais il eft impoffible de le réduire à zéro. Le troifième fe joint quelquefois aux précédens ; il confifte dans la rencontre de différens corps qui fe trouvent fur le paffage du mobile, & qu'il eft obligé de déplacer pour continuer fa route. Or, il ne peut les déplacer qu'en leur communiquant & conféquemment qu'en perdant une portion de la force qui le fait mouvoir. Voilà donc trois obftacles qui s'oppofent à la perpétuité du mouvement, obftacles que le Phyficien, & fur-tout le Méchanicien doit favoir apprécier. Il trouvera, dans les trois Sections fuivantes, des principes qui le conduiront à cette connoiffance.

PREMIÈRE SECTION.

De la résistance des Milieux.

On entend par *milieu* tout fluide dans lequel un corps se meut. L'air ou l'eau sont ceux qui méritent particulièrement ici notre attention, comme ceux dans lesquels presque tous les mouvemens s'exécutent, le plus grand nombre cependant dans l'air. Or, quoique la résistance de ce fluide ne paroisse pas fort sensible au premier aspect, sur-tout lorsqu'il est calme, tranquille, & que le mobile n'a point à lutter contre le vent ou l'agitation de l'air, cette résistance n'en est pas moins réelle, & quelque petite qu'elle soit, à chaque instant pendant lequel il se meut,

elle augmente progreſſivement comme le nombre de ces inſtans, ou comme l'eſpace qu'il parcourt dans ce milieu ; puiſqu'à chaque inſtant il eſt obligé d'en déplacer un volume égal à ſon propre volume. Or, cette réſiſtance ne peut s'accroître ainſi, que la force imprimée au mobile pour ſe mouvoir ne diminue dans la même proportion ; il n'eſt donc point étonnant de voir la vîteſſe d'un corps qui ſe meut dans l'air, ſe ralentir progreſſivement & finir par s'éteindre.

Toutes choſes égales d'ailleurs, on conçoit que plus le mobile aura de ſurface, & plus il éprouvera de réſiſtance de la part de l'air dans lequel il ſe mouvra. Sa ſurface en effet étant plus grande, elle aura

un plus grand nombre de parties à déplacer dans le même temps ; puisque, plongée dans ce milieu, tous les points de cette surface correspondent à quelques-unes de ses parties. Or, chacune d'elles opposant la même résistance à son déplacement, la résistance du milieu augmentera comme le nombre des parties à déplacer, ou comme la surface du mobile.

L'expérience confirme cette vérité. Le volant d'une horloge se meut sensiblement plus vîte, si ses ailes présentent leur tranchant à l'air qu'elles divisent au lieu de lui présenter toute l'étendue de leurs surfaces.

Personne n'ignore qu'un fusil chargé à balle porte plus loin que s'il est

chargé de menu plomb, en supposant la même charge de poudre, également bien bourrée dans les deux circonstances. Or, d'où vient cette différence, si ce n'est de la résistance de l'air qui est plus considérable dans le second que dans le premier cas; & pourquoi cette résistance est-elle plus considérable par rapport au menu plomb, que par rapport à la balle? C'est que la charge de menu plomb présente beaucoup plus de surface que la balle à l'air qu'elles ont l'une & l'autre à traverser pour atteindre le but.

Je veux jeter d'un bout d'une salle à l'autre un corps léger, mais très-volumineux, & il tombe en chemin. Je le ramasse, je le plie, je le roule

sur lui-même, & je parviens à le lancer jusqu'au bout de la salle. Dans le premier cas, il présentoit trop de surface à l'air qu'il avoit à traverser, & cette résistance l'a arrêté dans son trajet. Dans le second cas, il présentoit moins de surface, il a éprouvé moins de résistance, & il est parvenu à sa destination.

On voit donc par ces exemples, & par bien d'autres, que je passe sous silence parce qu'ils se présentent trop habituellement sous nos yeux, qu'une plus grande surface, toutes choses égales d'ailleurs, éprouve plus de résistance de la part de l'air qu'une surface plus petite. Mais cette résistance croît-elle exactement comme la grandeur de la surface augmente ?

Au défaut de l'expérience, qui n'eſt cependant pas impoſſible à faire, mais pour laquelle les Phyſiciens n'ont point encore imaginé de machines aſſez exactes, le raiſonnement atteſte l'affirmative; il prouve que la réſiſtance du milieu ſuit les mêmes degrés d'accroiſſemens que la ſurface du mobile, & je m'en tiens à la raiſon que j'en ai donnée ci-deſſus.

Un autre objet à conſidérer, & qui ne doit point être négligé, lorſqu'on veut eſtimer la réſiſtance que l'air peut faire éprouver à un mobile qui ſe meut dans ſon ſein, c'eſt la vîteſſe avec laquelle il ſe meut, & cette conſidération eſt d'autant plus importante, que la réſiſtance du milieu croît ſelon une plus haute pro-

portion que la vîteſſe. Une vîteſſe double, en effet, occaſionne une réſiſtance quadruple ; & pour indiquer comment cette réſiſtance augmente à raiſon de la vîteſſe du mobile, je dis, & je vais prouver que la réſiſtance de l'air, ou de tout autre milieu, toutes choſes égales d'ailleurs, croît comme le quarré de la vîteſſe du mobile.

On conçoit que, muni d'une plus grande vîteſſe, le mobile parcourt plus d'eſpace dans le même temps, & conſéquemment déplace un plus grand nombre de parties qui lui font éprouver chacune la même réſiſtance. Par cela ſeul, la réſiſtance augmente comme l'eſpace parcouru ou comme la vîteſſe. On conçoit encore que,

doué d'une plus grande vîtesse, il se meut avec une force, une quantité de mouvement proportionnellement plus grande, comme nous l'avons démontré ci-dessus. Il agit donc proportionnellement davantage contre chacune des parties qu'il déplace, & il leur communique à chacune proportionnellement plus de force. Réunissant donc ces deux circonstances, qui ne doivent point être séparées, il perd de sa force, & à raison du nombre de parties qu'il repousse, & à raison de la force avec laquelle il les repousse.

Or, si on ajoute ensemble ces deux pertes, on trouvera que leur somme est égale au quarré de la vîtesse du mobile. Je suppose, en effet,

qu'un mobile ſe meuve trois fois plus vîte, & conſéquemment avec trois fois plus de force : à raiſon de ſa triple vîteſſe, il parcourra un eſpace triple, & déplacera trois fois plus de parties dans le même-temps : il perdra donc trois fois davantage de ſa force. Mais comme cette force eſt auſſi trois fois plus grande, il agira trois fois davantage, ou trois fois plus fortement ſur chacune des parties qu'il déplacera ; il perdra donc trois fois davantage de ſa force ſur chacune d'elles. Mais perdre trois fois plus de ſa force ſur un nombre de partie trois fois plus grand, c'eſt en perdre neuf fois davantage. La réſiſtance du milieu ſera donc comme 9, lorſque la vîteſſe ſera

comme 3, or, 9 est le quarré de trois, ou le produit de 3 par 3, d'où je conclus que la résistance du milieu augmente comme le quarré de la vîtesse.

Elle doit donc être bien considérable cette résistance, lorsque la vîtesse du mobile devient très-grande, comme il arrive, par exemple, à la grêle qui tombe d'un mouvement accéléré, & d'une très-grande hauteur. Sa vîtesse, & conséquemment la force avec laquelle elle devroit nous frapper, augmente dans tous les instans de sa chûte, conformément aux loix de la pesanteur; mais par un bienfait signalé de la providence, la résistance qu'elle éprouve de la part du milieu, croissant comme le quarré

de sa vîtesse, elle ralentit considérablement celle-ci, & ne lui permet d'arriver sur la terre qu'avec une force incapable de nous blesser, en supposant que sa masse ne soit point très-grosse.

Que d'applications plus curieuses les unes que les autres se présentent ici. Nous les abandonnons à la sagacité de nos lecteurs, dans la crainte de devenir prolixes. La seule résistance que l'air fait éprouver aux mouvemens rapides des ailes des oiseaux, résistance qui les met en état de se soutenir dans le sein de ce fluide, dont la pesanteur est considérablement moindre que la leur, fourniroit matière à une très-longue digression; mais nous renfermant dans les

bornes que nous nous ſommes preſcrites, nous paſſons à deux autres conſidérations qui méritent toute notre attention.

Celles-ci tombent ſur la nature ou les qualités du milieu. Nous n'avons point parlé de la viſcoſité de l'air, c'eſt-à-dire de la ténacité de ſes parties, parce qu'elle eſt inſenſible, je dirois même invariable; nous n'avons rien dit de ſa denſité, bien que ce ſoit la cauſe première de la réſiſtance qu'elle oppoſe au mouvement d'un mobile, parce que nous l'avons ſuppoſée conſtante, & que nous l'avons priſe pour baſe des règles que nous venons d'établir; mais s'il s'agit de celles qui concernent les différentes eſpèces de milieux dans leſquels les

corps

corps peuvent ſe mouvoir il faut avoir égard à leur viſcoſité & à leur denſité.

Et d'abord à leur viſcoſité ; on conçoit en effet, que plus un milieu ſera viſqueux, plus ſes parties auront d'adhérence entre elles, & plus elles oppoſeront de réſiſtance à leur ſéparation, & conſéquemment plus le mobile qui ſe mouvra dans ſon ſein, éprouvera de difficulté à s'y mouvoir. L'expérience prouve manifeſtement qu'un corps qui ſe meut dans de l'huile très-graſſe, par exemple, s'y meut plus difficilement que dans une ſemblable maſſe d'eau, & cependant cette huile eſt plus légère ou contient moins de parties ſous la même volume. Cet excès de réſiſtance

ne peut donc être attribué qu'à la plus grande adhérence des parties de l'huile, ou à la plus grande viscosité de ce milieu.

De là on conçoit que tout ce qui sera capable de diminuer ou d'augmenter cette adhérence, influera nécessairement sur la résistance d'un pareil milieu. La chaleur & le froid produisent communément ces deux effets. La plûpart des huiles sont moins coulantes, & conséquemment plus visqueuses pendant l'hiver que pendant l'été. Il faut donc avoir égard à ces deux circonstances lorsqu'il s'agit de déterminer la résistance que peuvent faire éprouver à un mobile des milieux de cette espèce.

En général, cette réſiſtance eſt conſtante & uniforme, tant que le mobile demeure plongé dans le même milieu. Elle ſe meſure donc par le temps pendant lequel il s'y meut.

Je dis, en ſecond lieu, qu'il faut avoir égard à la denſité du milieu; j'entends par ſa denſité la quantité de parties qu'il renferme ſous un volume donné. Il ſera donc une fois plus denſe ſi, ſous le même volume, il contient une fois plus de parties, & dans ce cas il fera éprouver une réſiſtance double au mobile, puiſqu'à chaque inſtant celui-ci aura une fois plus de parties à déplacer, & que chacune de ces parties s'oppoſera également à ſon déplacement.

La résistance qui provient de la densité du milieu, suit donc la raison directe de la densité : elle croît comme cette densité augmente. C'est ce que le savant *Newton* a parfaitement démontré, en prouvant que le mercure, qui est près de quatorze fois plus dense que l'eau, résiste près de quatorze fois plus qu'elle, à raison de sa densité.

On fait en Physique des expériences qui tendent à confirmer cette vérité ; mais elles n'en prouvent qu'une partie ; elles prouvent seulement que, toutes choses égales d'ailleurs, la densité du milieu étant plus grande, la résistance qu'il oppose au mouvement du mobile devient plus grande ; mais elles ne prouvent point

que cet accroiſſement ſoit en proportion exacte avec la denſité du milieu. Au reſte, cette vérité eſt ſi bien démontrée par le raiſonnement, que l'expérience devient inutile.

En réſumant tout ce que nous avons dit dans ce Chapitre, on en concluera que la viſcoſité du milieu & ſa denſité, jointes à la ſurface du mobile & à la vîteſſe avec laquelle il ſe meut, en ſuppoſant toutefois que ce milieu ſoit tranquille ou dans un état de repos, ſont les élémens qui doivent entrer dans le calcul de la réſiſtance qu'il fait éprouver à un mobile, & les principes que nous avons établis ſur ces points, dirigeront facilement le travail de ceux qui voudront calculer cette

résistance dans une supposition donnée. Je passe maintenant à la considération du second obstacle qui s'oppose à la perpétuité du mouvement.

SECONDE SECTION.

De la Résistance occasionnée par les frottemens.

On distingue, en Méchanique, deux espèces de frottemens; l'un qu'on appelle *de la première espèce*, laquelle a lieu lorsque toute la surface d'un corps s'appuie en se mouvant sur la surface d'un autre. C'est ce qu'on remarque, par exemple, dans une poutre qu'on tire & qu'on fait avancer sur un plan. L'autre qu'on

nomme *de la seconde espèce*, se fait remarquer lorsque les différentes parties du mobile ne s'appuient que successivement sur les parties correspondantes d'un autre corps. La roue d'un carrosse qui tourne sur son essieu, en fournit un exemple familier. Les parties de sa circonférence ne s'appliquent & ne frottent que les unes après les autres sur le pavé.

On peut toujours changer une espèce de frottement pour l'autre, mais on ne peut les éviter toutes deux, dès qu'il s'agit de faire mouvoir un corps sur un autre. De quelqu'espèce que soit le frottement, on peut diminuer une partie de la résistance qu'il occasionne, mais on ne peut la réduire à zéro. De quelque

manière en effet qu'un corps se meuve sur un autre, les aspérités de leurs surfaces (& il n'est aucun corps assez poli pour n'avoir aucune aspérité) leurs aspérités, dis-je, s'engagent réciproquement. Il se forme donc une espèce d'engrainage entre eux, & cet engrainage doit nécessairement être surmonté pour que le corps se meuve. Or, c'est l'effort employé à le surmonter qui produit la résistance dont il est ici question.

Toutes choses égales d'ailleurs, cette résistance est plus grande dans le frottement de la première espèce que dans celui de la seconde. On démontre cette vérité, & de la manière la plus satisfaisante, à l'aide d'une superbe machine qu'on

appelle *Machine des frottemens*. Sans avoir recours à cet appareil, qu'une ſimple deſcription ne feroit point ſuffiſamment connoître, je ne veux, pour prouver la même choſe, que quelques réflexions univerſellement connues, & je ſuis perſuadé qu'elles mettront en évidence la vérité que je veux établir.

Un charpentier veut amener une poutre qui ſe trouve à quelque diſtance de l'endroit où elle doit être poſée; il ſent d'avance toute la réſiſtance qu'elle lui feroit éprouver, s'il la tiroit à lui, en la laiſſant frotter de toute ſa longueur ſur le terrain. Que fait-il donc? Il commence par la ſoulever, & par engager deſſous deux ou trois rouleaux de bois ſur leſ-

quels il la laisse porter, & ensuite il la fait avancer sur ces rouleaux ; alors elle se meut & plus vîte & avec plus de facilité.

D'où vient cette différence ? Elle ne vient certainement pas de la poutre qui, dans ces deux circonstances, résiste également, par sa masse ou son poids, au mouvement qu'on veut lui communiquer. Elle ne vient donc que de la différence du frottement qu'on lui fait éprouver. En s'avançant sur des rouleaux, son frottement est de la seconde espèce ; il eut été de la première, si on l'eut laissé traîner de toute sa longueur sur le terrain.

Que fait un voiturier qui veut descendre une montagne, lorsque sa

voiture eſt fort chargée : Il commence par enrayer, c'eſt-à-dire, par barrer les roues de ſa voiture, de façon qu'elles ne puiſſent tourner ſur leur eſſieu, & alors elles s'avancent en gliſſant ſur le pavé. Il change donc le frottement de la ſeconde eſpèce qu'elles éprouvent dans leur état naturel, en un frottement de la première eſpèce. Et pourquoi ? Parce que le frottement qu'il leur procure étant beaucoup plus grand, le mouvement de la voiture devient plus difficile, & la garantit d'être entraînée par la pente ou la déclivité de la montagne.

Voilà donc deux pratiques fort groſſières, à la vérité, mais ſimples, faciles à ſaiſir, & qui prouvent incon-

testablement que, toutes choses égales d'ailleurs, le frottement de la première espèce occasionne plus de résistance au mouvement d'un corps que celui de la seconde espèce.

De là, je conclus que toutes fois qu'on aura à ménager la force d'une puissance destinée à faire mouvoir une machine, il faut éviter, autant qu'il sera possible, (& avec plus de dépense, il le sera toujours) les frottemens de la première espèce, entre les parties mobiles de la machine.

C'est une attention qu'on ne néglige point impunément en quantité de circonstances, sur-tout dans la construction des poulies dont on se sert journellement, pour élever des fardeaux

fardeaux à quelque hauteur que ce ſoit. Au lieu d'être percées à leur centre, de ſe mouvoir & de rouler circulairement ſur leur axe, comme il n'arrive que trop fréquemment à la plûpart des poulies, je voudrois que cet axe fût fixé au centre de la poulie, & au lieu de faire tourner cet axe plus ou moins librement dans les yeux de la châſſe, où il éprouve un frottement de la première eſpèce, je voudrois que ſes pivots fuſſent appuyés ſur des rouleaux mobiles, ſur leſquels ils feroient des oſcillations alternatives. Le frottement ſeroit alors de la ſeconde eſpèce & on diminueroit de beaucoup la force que les hommes ſont obligés d'employer pour

élever des fardeaux avec de pareilles machines.

Il n'y a perſonne qui ne ſente l'avantage de cette pratique. Tous les Méchaniciens la recommandent. Pourquoi, depuis le temps qu'elle eſt connue, & ſur-tout ſi fortement recommandée, ne la met-on point en uſage, & laiſſe-t-on toujours les malheureux expoſés à s'épuiſer de fatigues, lorſqu'il ſeroit ſi facile de les ſoulager ?

Je le dirai, à la honte de l'humanité : des poulies montées de cette manière deviendroient beaucoup plus coûteuſes, & ceux qui en feroient la dépenſe, ne ſeroient point ceux qui en profiteroient. Qu'on ne me reproche point ici la liberté avec

laquelle je m'explique ſur la conduite qu'on tient journellement envers une claſſe d'hommes condamnée aux travaux les plus rudes : l'humanité me l'ordonne, & jamais circonſtance plus favorable ne ſe préſenta de défendre la cauſe des malheureux. Je parle à un ſexe compatiſſant, qui ſe fait un devoir & un plaiſir de les ſoulager. Je me flatte donc qu'il prendra leur intérêt en cette circonſtance, & que le déſir de lui plaire, qui maîtriſe tous les hommes, fera ce que les meilleurs raiſonnemens n'ont pu faire juſqu'ici.

De quelque eſpèce que ſoit le frottement, ſon effet, ou la réſiſtance qui en réſulte, augmente à raiſon

des aſperités des ſurfaces frottantes : plus en effet elles ſont âpres, inégales, raboteuſes, plus le frottement devient rude & difficile à vaincre, auſſi le Méchanicien, pour peu qu'il ſoit inſtruit, a-t-il ſoin d'adoucir & de polir, autant qu'il lui eſt poſſible, ces ſortes de ſurfaces.

C'eſt encore dans la même vue qu'il les enduit d'huile, de ſavon, ou de graiſſe, ſuivant les matières dont elles ſont faites. Une porte roule plus facilement ſur ſes gonds, lorſque ſes pentures ſont huilées ; une boîte s'ouvre plus aiſément lorſque ſes feuillures ſont ſavonnées, les roues d'un carroſſe ou d'une chaiſe de poſte veulent être graiſſées pour que leurs

mouvemens ſoient plus libres, & en même-temps pour qu'elles ſoient moins expoſées à l'action de la chaleur que le frottement excite, & qui les embraſeroit enfin.

Si on doit avoir égard à l'étendue des ſurfaces frottantes, lorſqu'il s'agit d'eſtimer la grandeur des frottemens, l'expérience nous apprend que, toutes choſes égales d'ailleurs, cette conſidération entre pour peu de choſe dans cette eſtimation. En doublant les ſurfaces, il s'en faut de beaucoup que le frottement ſoit doublé. J'aurois peine à en donner la raiſon; mais en Phyſique, c'eſt à l'expérience qu'on doit s'en rapporter.

Il n'en eſt pas de même des preſſions qu'ont à ſupporter les par-

ties frottantes; elles augmentent considérablement le frottement. Dans la construction des machines en grand, on l'évalue au tiers de la charge, & d'après l'expérience, c'est à peu de chose près l'effet qu'elle produit.

On conçoit facilement que cet effet ne peut être, à beaucoup près, aussi sensible dans les petits modèles qu'on fait assez communément des grandes machines, & c'est précisément ce qui induit souvent en erreur quantité de Machinistes qui n'ont que leur génie, l'imagination dont la nature les a favorisés, pour se conduire dans leurs travaux?

Les modèles qu'ils présentent sont séduisans; ils répondent admirable-

ment bien au projet, au but auquel on se propose d'atteindre; mais vient-on ensuite à les exécuter en grand: malheur à celui qui s'est laissé surprendre, & qui en a fait les frais; la puissance indiquée par le modèle n'est point en état de produire son effet, & cela précisément parce que le Machiniste n'a point su apprécier la valeur des frottemens occasionnés par la charge ou par les pressions.

Ce seroit ici que cette vérité paroîtroit dans tout son jour, si je rapportois les résultats des expériences qu'on fait communément avec la machine indiquée ci-dessus; mais, pour saisir ces résultats, il faudroit avoir cette machine sous les yeux, & être témoin de ses effets. Je préfère

donc encore m'en tenir au moyen dont je me suis servi précédemment, à des observations connues & que tout le monde peut saisir facilement.

La pression peut augmenter de deux manières dans une machine : par le poids des parties qui entrent dans sa composition, ou par le peu de liberté qu'on donne à ces parties pour se mouvoir les unes sur les autres. Un pivot, par exemple, qui roule dans un trou trop petit, presse les parois de ce trou, & cette pression équivaut à celle d'un poids proportionné qui l'appuieroit contre le fond du même trou : or, en considérant sous ce point de vue les effets de la pression entre les parties d'une machine, quantité

d'obſervations, qui ſe préſentent ſous ma plume, viennent, on ne peut mieux, à l'appui de notre théorie.

J'obſerve donc que les pendules & les montres retardent aſſez communément pendant l'été, ſur-tout lorſqu'elles ſont neuves & travaillées avec ſoin : & pourquoi retardent-elles ? le voici : la chaleur dilate les métaux, nous en donnerons une preuve convaincante lorſque nous traiterons du feu : en conſéquence de cette dilatation, les platines acquièrent de plus grandes dimenſions, & les trous qui y ſont creuſés diminuent de grandeur. Les pivots qui roulent dans ces trous augmentent en même-temps de groſſeur ; ils y ſont donc plus preſſés

& moins libres, & conséquemment ils y éprouvent plus de frottement, ce qui augmente la résistance qu'ils opposent au ressort qui les fait mouvoir, & occasionne le retard du rouage.

Je tourne un morceau de métal, d'ivoire, ou de toute autre matière, entre deux pointes. La pièce se meut d'abord avec assez de facilité; mais peu à peu elle s'échauffe; en s'échauffant elle s'alonge; en s'alongeant elle est plus pressée entre les deux pointes; elle éprouve alors un plus grand frottement, & elle ne tourne plus avec la même liberté.

Ces deux exemples suffisent, ils prouvent manifestement que la pression augmente la grandeur des frotte-

mens : à la vérité ils ne nous indiquent point précisément à quel point peut aller cette augmentation ; mais ils en disent assez à l'Amateur, sur une théorie qui n'intéresse que le Méchanicien, & qu'on ne peut bien étudier que dans les ouvrages des Mathématiciens, & encore en consultant l'expérience. Je passe donc au troisième obstacle qui s'oppose à la perpétuité du mouvement.

TROISIÈME SECTION.

De l'obstacle au mouvement occasionné par la rencontre de différens corps.

Un corps en mouvement qui en rencontre un autre sur son passage,

ne peut continuer à se mouvoir, qu'il ne déplace celui qu'il rencontre, & qui lui fait obstacle ; mais pour le déplacer, il faut de toute nécessité qu'il lui communique, & conséquemment qu'il perde une portion de la force qui l'anime, & qu'il a reçue pour se mouvoir : or, quelle portion de cette force doit-il lui communiquer ? c'est la première & la principale des questions qui se présentent ici, & à laquelle nous allons répondre.

Et d'abord j'observe que dans cette circonstance l'obstacle doit être levé de manière à ce qu'il soit entièrement détruit, ou qu'il cesse de s'opposer au mouvement du mobile ; d'où je conclus que celui-ci

doit lui communiquer assez de force pour le faire mouvoir avec une vîtesse égale à la sienne.

La question se réduit donc à déterminer la quantité de force qu'il faut imprimer à un corps pour le faire mouvoir avec une vîtesse donnée? or, d'après les principes établis précédemment, cette force doit être relative à la masse de ce corps; puisqu'elle doit se distribuer uniformément entre chacune de ses parties, & qu'elle devient d'autant plus petite, & produit d'autant moins d'effet, ou de vîtesse, que le nombre de ces parties est plus grand.

Cela posé, nous assurerons, comme une vérité constante, que dans la

rencontre de deux corps, quelles que ſoient leurs maſſes, le mouvement du mobile doit ſe communiquer ſelon le rapport de ces maſſes. Sont-elles égales, le corps choquant doit communiquer au corps choqué la moitié de la force avec laquelle il le choque.

De là on conçoit que ſi ce dernier eſt en repos, le corps choquant lui communiquera la moitié de la force avec laquelle il ſe meut; mais ſi l'on ſuppoſe le corps choqué déjà en mouvement, & dans le même ſens que le corps choquant, celui-ci ne l'atteignant que par ſon excès de vîteſſe, il ne lui communiquera que la moitié de la force qui produit en lui cet excès de vîteſſe, &

après le choc, on les verra l'un & l'autre continuer à ſe mouvoir dans le même ſens, & avec des vîteſſes égales.

Conſervant l'égalité des maſſes, ſuppoſons que les deux corps ſe meuvent en ſens contraire : dans cette ſuppoſition, les forces égales & oppoſées ſe détruiront mutuellement & ſe réduiront à zéro. De là les deux corps reſteront en repos après le choc, ſi leurs vîteſſes ſont égales, en ſuppoſant cependant que ces corps ſoient dépourvus de reſſort; que ce ſoient des corps durs ou des corps mous. Dans un moment nous indiquerons ce qui arriveroit s'ils étoient doués d'élaſticité ou de reſſort.

Supposons maintenant que les masses restant encore égales, leurs vîtesses fussent inégales : dans ce cas les forces seroient entre elles comme les vîtesses, & conséquemment ces corps se choqueroient avec des forces inégales. Que s'ensuivroit-il ? le voici : le plus foible des deux perdroit la totalité de sa force dans le choc, & le plus fort ne perdroit de la sienne qu'une quantité égale à celle du plus foible, le surplus se partageroit également entre les deux corps, & l'un & l'autre, après le choc, se mouvroient dans la direction du plus fort, avec une vîtesse égale à la moitié de l'excès de la plus grande sur la plus petite vîtesse.

Un exemple rendra cela plus ſen-ſible; je ſuppoſe donc que deux maſſes égales viennent ſe heurter en ſens contraire, avec des vîteſſes inégales, l'une avec une vîteſſe comme huit, l'autre avec une vîteſſe comme deux; leurs forces ſeront entre elles comme huit eſt à deux. Dans ce cas, l'une & l'autre perdront, dans le choc, deux degrés de force. L'une des deux maſſes perdra donc la totalité de la ſienne, & ſera réduite au repos, tandis que l'autre, conſervant ſix degrés de ſa force, en communiquera la moitié, ou trois degrés, à la première, & l'une & l'autre, après le choc, ſe mouvront dans la direction de celle qui avoit plus de force, avec

une vîteſſe comme trois, ou avec la moitié de l'excès de la plus grande ſur la plus petite vîteſſe.

En développant les principes que nous venons d'expoſer, il ſera facile d'en faire l'application à des corps dont les maſſes ſeroient inégales, ſi on ne perd point de vue que, dans le choc, les forces ſe partagent ſelon le rapport des maſſes. Je paſſe donc aux effets du choc entre des corps élaſtiques.

Pour les bien ſaiſir, il faut ſe rappeler ce que nous avons dit précédemment relativement à ces ſortes de corps qui ſe compriment dans le choc, ſe reſtituent enſuite, & ſe portent en ſens contraire. Il faut, outre cela, les ſuppoſer autres qu'ils

ne ſont véritablement, je veux dire parfaitement élaſtiques, & tels que la reſtitution ſoit parfaitement égale à la compreſſion, ou que la force avec laquelle ils ſe reſtituent ſoit égale à celle avec laquelle ils ſont comprimés par le choc.

Cela poſé, nous comprendrons facilement que cette reſtitution ſe fait en faveur du corps choqué, & au détriment du corps choquant; elle double l'effet de la communication du mouvement par rapport au premier; elle le ſollicite, en effet, à ſe mouvoir dans le même ſens, & elle lui communique une force égale à celle qu'il a reçue dans le choc. Quant au corps choquant, elle lui enlève une force

égale à celle qu'il a communiquée dans le choc, & elle tend à le mouvoir dans une direction contraire à la sienne. Le corps choqué se mouvra donc, après le choc, avec une vîtesse double de celle qu'il aura acquise par le choc; tandis que le corps choquant demeurera en repos, ou continuera à se mouvoir dans le même sens, ou enfin se mouvra en sens contraire, ce qui dépendra du rapport de sa masse à celle du corps choqué. C'est une affaire de calcul qu'on saisira facilement par les exemples que nous allons rapporter.

Je suppose d'abord deux masses égales & parfaitement élastiques, l'une en repos, l'autre animée d'une

vîteſſe comme ſix, avec laquelle elle viendra heurter celle qui eſt en repos ; elle lui communiquera la moitié de ſa force, & le reſſort de l'une & de l'autre ſera tendu avec une force comme trois. Abſtraction faite de ce reſſort, elles ſe mouvroient toutes les deux après le choc avec une vîteſſe comme trois, ſelon la direction du corps choquant; mais la reſtitution de chaque reſſort étant égale à ſa compreſſion, celui du corps choqué ajoute trois nouveaux degrés de vîteſſe à celle qu'il a reçue du corps choquant, il ſe mouvra donc avec une vîteſſe égale à ſix, ou à celle qu'avoit le corps choquant avant le choc.

Quant à celui-ci, la moitié de ſa force qu'il avoit conſervée dans le choc pour continuer à ſe mouvoir dans le même ſens, lui eſt enlevée par la reſtitution de ſon reſſort qui tend à le porter en ſens contraire. Il demeurera donc en repos après le choc, & voilà le premier des trois cas que nous venons d'indiquer. La ſuppoſition ſuivante nous montrera le ſecond.

Je ſuppoſe encore deux corps parfaitement élaſtiques, mais dont les maſſes ſoient différentes, l'une double de l'autre, par exemple : je laiſſe la petite en repos, & j'imprime ſix degrés de vîteſſe à la plus groſſe, avec leſquels elle viendra heurter la petite. Qu'arrivera-t-il après le

choc, le voici : le corps choqué se mouvra dans la direction du corps choquant, avec huit degrés de vîtesse, & celui-ci continuera à se mouvoir avec deux degrés de vîtesse.

Quelque compliquée qu'elle soit, la raison de ces deux phénomènes peut se saisir aisément, & d'abord les masses étant dans le rapport de 2 à 1, la première, munie de six degrés de vîtesse, a nécessairement douze degrés de force, produit d'une masse 2 par 6 degrés de vîtesse. C'est donc avec une force comme 12 que le corps choquant vient frapper le corps choqué en repos : or, le mouvement se communiquant dans le choc, selon le rapport des masses,

la communication doit être, dans l'hypothèse actuelle, égale à quatre degrés, tiers de douze, parce que les masses étant dans le rapport de 2 à 1, la petite n'est que le tiers d'un tout, dont la grosse est les deux tiers. En vertu donc de la force qui lui est communiquée, la petite masse devroit se mouvoir avec quatre degrés de vîtesse; mais la restitution de son ressort lui imprime quatre nouveaux degrés de force; elle doit donc, après le choc, se mouvoir avec huit degrés de vîtesse.

Reste à prouver maintenant que la grosse masse ne peut continuer à se mouvoir dans le même sens, qu'avec deux degrés de vîtesse.

Munie, avant le choc, de douze degrés de force, elle se mouvoit avec six degrés de vîtesse; parce que ces douze degrés de force étoient distribués entre deux degrés de masse. Dans le choc, elle communique quatre degrés de sa force, il ne lui en reste donc que huit avec lesquels elle conserveroit quatre degrés de vîtesse; mais de ces huit degrés de force, la restitution de son ressort, qui tend à la porter en sens contraire, lui en enlève quatre, il ne lui en reste donc que quatre qui ne peuvent la faire mouvoir, dans le même sens, qu'avec deux degrés de vîtesse.

Développons enfin la circonstance dans laquelle elle seroit reportée

en arrière, & ce sera par là que nous terminerons ce que nous nous sommes proposés de dire sur une matière aussi épineuse, qui est plus du ressort des Mathématiques que de la Physique, mais dont nous n'avons pas cru pouvoir nous dispenser de donner une idée suffisante à nos Lecteurs.

Les mêmes masses se prêteront parfaitement à l'état de la question. Il ne s'agit que de leur faire changer de fonction. Nous supposerons donc que la grosse masse, ou la masse comme 2 soit en repos, & que la petite, ou la masse comme 1, vienne la choquer avec une vîtesse comme six; dans ce cas, la grosse se mouvra après le choc, selon la direction

de la petite, avec une vîteſſe comme 4, & la maſſe choquante retournera en arrière avec une vîteſſe comme 2.

La première, en effet, étant égale à 1, ſa force ne ſera point différente de ſa vîteſſe; elle choquera donc la maſſe comme 2, avec une force comme ſix, & cette force ſe diſtribuant ſelon le rapport des maſſes, le corps choqué recevra, dans le choc, quatre degrés de force, ou les deux tiers de la force du corps choquant; mais ces quatre degrés de force ayant à tranſporter une maſſe comme 2, ne pourront la faire mouvoir qu'avec une vîteſſe comme deux, & la reſtitution de ſon reſſort

doublant cet effet, elle se mouvra avec une vîtesse comme 4.

Quant au corps choquant qui ne conserve, après le choc, que deux degrés des six degrés de force dont il étoit animé avant le choc, il continueroit à se mouvoir dans le même sens avec deux degrés de vîtesse, si la restitution de son ressort, qui est égale à la compression ou au mouvement communiqué, c'est-à-dire à 4, ne le reportoit en arrière avec une force comme 4 : or, de ces quatre degrés deux sont détruits par les deux qui restent au mobile ; il n'est donc reporté en arrière qu'avec deux degrés de vîtesse.

Ces exemples suffisent pour mettre

nos Lecteurs à portée d'en déyelopper un plus grand nombre, & de saisir tous les effets qui peuvent résulter du choc entre toute espèce de corps, choc qui s'oppose plus ou moins à la perpétuité du mouvement, & c'est assez nous être arrêté sur cette matière. Parlons maintenant des obstacles qui changent ou qui altèrent sa direction ; ce sera le sujet du Chapitre suivant.

Fin du Tome premier.

ERRATA.

Page 17, ligne 7, *& a démontré*, liſez, *& démontra.*

Page 63, ligne 9 & 10, *s'évaportant*, liſez, *s'évaporant.*

Page 65, ligne 17, *ſervir*, liſez, *ſervir.*

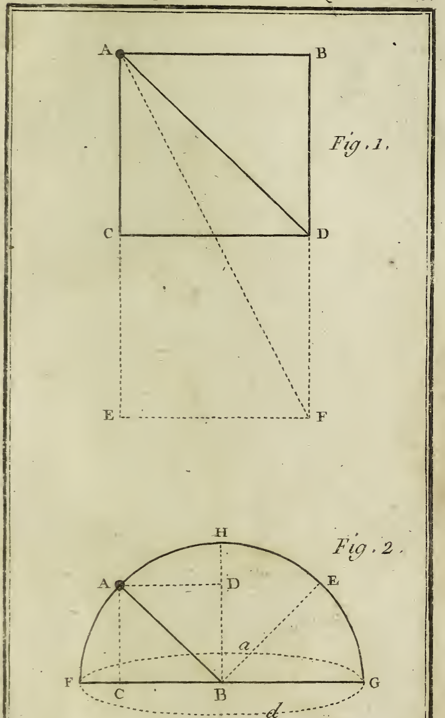
Page 146, ligne 10, *dont les quarrés*, liſez, *le quarré.*

Page 158, ligne dernière, *l'inſcrivent*, liſez *s'inſcrivent.*

TABLE

DES MATIERES.

Fin de la Table.


A
B
C
D
E
F
Fig. 1.
H
Fig. 2.
A
D
E
a
F
C
B
G
d





